



Daniel Nunes Pombeira

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Alianças de Consumidores, Comercialização Bilateral de Eletricidade e Gestão de Contratos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor Fernando Jorge Ferreira Lopes, Investi-
gador, Laboratório Nacional de Energia e Geologia
Co-orientadora: Professora Doutora Anabela Monteiro Gonçalves Pronto,
Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade Nova de Lisboa

Júri

Presidente: Doutor João Francisco Alves Martins, FCT/UNL
Arguentes: Doutora Isabel Cecília Correia da Silva Praça Gomes Pereira, ISEP/IPP
Vogais: Doutor Fernando Jorge Ferreira Lopes, LNEG



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2016

Alianças de Consumidores, Comercialização Bilateral de Eletricidade e Gestão de Contratos

Copyright © Daniel Nunes Pombeira, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Este documento foi gerado utilizando o processador (pdf) \LaTeX , com base no template “unlthesis” [1] desenvolvido no Dep. Informática da FCT-NOVA [2]. [1] <https://github.com/joaomlorenco/unlthesis> [2] <http://www.di.fct.unl.pt>

AGRADECIMENTOS

Agradeço a ajuda, disponibilidade e paciência dos orientadores, Professor Doutor Fernando Jorge Ferreira Lopes e Professora Doutora Anabela Monteiro Gonçalves Pronto, por me guiarem até bom porto.

Ao Hugo Algarvio, do LNEG, pela grande ajuda e disponibilidade com o simulador e assuntos relacionados.

O apoio e ajuda dos meus amigos de faculdade, não só nos momentos fáceis.

O suporte mental e por nunca terem desistido de mim dos meus pais, Maria Gaspar Nunes e Carlos Augusto Antunes Pombeira, apesar de algumas vezes ter parecido complicado.

À minha irmã, Ana Carolina Nunes Pombeira, que muitas vezes aturou o meu mau humor, mas também ajudou a contribuir para o resultado final.

E, finalmente, a todos os professores que me inspiraram e me guiaram no caminho correto durante o meu período académico.

RESUMO

A energia elétrica é produzida e vendida através de mercados liberalizados. Os produtores tratam de negociar a energia em mercado grossista, onde por sua vez os retalhistas participam e compram energia para comercializar com os consumidores finais, através de um mercado retalhista.

Com a liberalização do mercado de energia elétrica, os consumidores passaram a poder escolher os seus fornecedores, ou seja, os agentes retalhistas com quem negociar, o que permitiu melhorar as condições de fornecimento de eletricidade aos consumidores.

No entanto, os preços da energia são muito voláteis e, na maioria dos casos, os consumidores preferem negociar contratos de preço e condições fixas, capazes de gerirem melhor o risco, ou seja, estabelecerem contratos bilaterais.

Numa negociação, e por forma de maximizar o lucro, um retalhista negocia com base em estratégias onde possa tirar o maior benefício, como por exemplo, se um cliente consumir volumes baixos de eletricidade, o retalhista poderá não querer fazer grandes concessões ao nível dos preços. Assim, uma das maneiras possíveis dos consumidores finais obterem melhores condições consiste na formação de coligações ou alianças, particularmente entre consumidores com interesses e condições semelhantes ou de áreas próximas, levando a um aumento do seu poder negocial.

Nesta dissertação simula-se a negociação entre um agente retalhista e três coligações com diferentes consumidores, com várias estratégias de decisão, num mercado de contratos bilaterais, recorrendo a um sistema Multi-Agente. Analisam-se os resultados e retiram-se as conclusões, sobre os benefícios de uma coligação e de cada estratégia de decisão, para cada uma das alianças.

O simulador utilizado é o MAN-REM, resultante de um projeto do LNEG (<http://www.lneg.pt/iedt/projectos/473/>), que permite simular contratos *forward*, entre coligações formadas por consumidores finais e agentes retalhistas.

Palavras-chave: Mercados de Energia Elétrica, Sistema Multi-Agente, Estratégias de Decisão, Estratégias de Negociação, Contratos Bilaterais, Coligações e Alianças de Consumidores

ABSTRACT

Electricity is produced and sold through a liberalized market. Producers negotiate it in a wholesale market, where retailer agents participate and bid for energy to sell thereafter to consumers through a retailer market.

With the liberalization of the electricity market, consumers are now allowed to choose their suppliers, that is clients can now change their retailer if wanted or needed, and negotiate with another for better conditions.

Although the liberalization process allows some advantages brought by that competitiveness, the prices of energy remain highly volatile and risky to the consumer. However, today the consumer can negotiate a bilateral contract which is an instrument that allows managing the risk by granting fixed prices, dates, periods and other conditions, generally resulting in better deals.

In a negotiation, in order to maximize profits the retailer negotiates through certain strategies that may not help the consumer to reap the most benefits. For example, if a client consumes a low volume of energy the retailer may not be inclined to make concessions while negotiating. Even though negotiating a bilateral contract is still the preferential solution to getting a better deal, customers may, as well, form an alliance of consumers to obtain more negotiating strength and reach better agreements.

The main theme of this thesis is to simulate three different alliances of real life consumers, with three different strategies of decision, in a market of bilateral contracts, with the help of a Multi-Agent system. The results are analyzed, so that conclusions can be taken on whether it really is an improvement to form an alliance of this sorts, rather than having a normal bilateral contract negotiation between only individual entities.

The Multi-Agent system used is called MAN-REM and is the result of a project from LNEG (<http://www.lneg.pt/iedt/projectos/473/>), which allows to negotiate forward contracts, between coalitions of consumers and retailer agents.

Keywords: Energy Markets, Multi-Agent Systems, Decision Strategies, Negotiation Strategies, Bilateral Contracts, Coalition of Consumers

ÍNDICE

| | |
|---|-------------|
| Lista de Figuras | xiii |
| Lista de Tabelas | xv |
| Glossário | xix |
| 1 Introdução | 1 |
| 1.1 Enquadramento Teórico e Motivações | 1 |
| 1.2 Objetivos | 2 |
| 1.3 Contribuições Originais | 3 |
| 1.4 Estrutura | 4 |
| 2 Estado da Arte | 7 |
| 2.1 Mercados de Energia Elétrica | 7 |
| 2.2 Mercado Grossista | 9 |
| 2.2.1 Mercado Diário | 10 |
| 2.2.2 Mercado Intradiário | 11 |
| 2.2.3 Mercado a Prazo | 12 |
| 2.3 Mercado Retalhista | 14 |
| 2.3.1 Contratos Bilaterais | 14 |
| 2.4 Agentes do Mercado Elétrico | 16 |
| 2.4.1 Operador de Mercado | 16 |
| 2.4.2 Operador de Sistema | 17 |
| 2.4.3 Produtor de Energia Elétrica | 18 |
| 2.4.4 Distribuidor de Energia Elétrica | 18 |
| 2.4.5 Comercializador de Energia Elétrica | 19 |
| 2.5 Sistemas Multi-Agente | 19 |
| 2.5.1 Introdução | 19 |
| 2.5.2 JADE | 20 |
| 2.5.3 SMA em Mercados de Energia Elétrica | 20 |
| 2.6 Tarifários de Energia Elétrica | 20 |
| 2.6.1 Preços | 21 |
| 2.6.2 Períodos | 22 |

| | |
|---|-----------|
| 3 Alianças de Consumidores | 25 |
| 3.1 Introdução | 25 |
| 3.2 Formação de Alianças | 25 |
| 3.3 Características das Coligações | 26 |
| 3.4 Estratégias de Decisão na Coligação | 26 |
| 3.5 Modelo de Negociação Bilateral | 28 |
| 3.6 Estratégias de Negociação | 28 |
| 4 Casos de Estudo | 31 |
| 4.1 Introdução | 31 |
| 4.2 Consumidores Reais | 32 |
| 4.3 Alianças de Consumidores Reais | 41 |
| 4.3.1 Caso 1: Cinco Escolas Públicas | 41 |
| 4.3.2 Caso 2: Cinco Escolas e o Instituto Politécnico | 43 |
| 4.3.3 Caso 3: Cinco Escolas e a Biblioteca Municipal de Tomar | 45 |
| 4.4 Retalhista | 47 |
| 4.5 Simulador MAN-REM | 49 |
| 5 Análise de Resultados | 55 |
| 5.1 Introdução | 55 |
| 5.2 Análise de Resultados | 57 |
| 5.2.1 Consumidores de Cada Caso por Estratégia de Decisão | 57 |
| 5.2.2 Comparação entre as Estratégias de Decisão dos Três Casos de Estudo | 65 |
| 5.3 Análise Global de Custos entre Cada Exemplo e o Contrato Real | 67 |
| 6 Conclusão | 71 |
| 6.1 Síntese de Resultados | 71 |
| 6.2 Trabalho Futuro | 72 |
| Bibliografia | 73 |
| A Anexos | 77 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Estrutura do MIBEL [11]. | 9 |
| 2.2 | Curva de oferta e procura no mercado diário [14]. | 10 |
| 2.3 | Sessões do mercado intradiário [14]. | 12 |
| 2.4 | Tarifas e formação de preços [26]. | 21 |
| 4.1 | Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Gualdim Pais [31]. | 32 |
| 4.2 | Vista aérea da Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Gualdim Pais (fonte: <i>Google Maps</i>). | 32 |
| 4.3 | Escola Secundária de Jácome Ratton [32]. | 34 |
| 4.4 | Vista aérea da Escola Secundária de Jácome Ratton (fonte: <i>Google Maps</i>). | 34 |
| 4.5 | Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Santa Iria [33]. | 35 |
| 4.6 | Vista aérea da Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Santa Iria (fonte: <i>Google Maps</i>). | 35 |
| 4.7 | Escola Secundária Santa Maria do Olival [34]. | 36 |
| 4.8 | Vista aérea da Escola Secundária Santa Maria do Olival (fonte: <i>Google Maps</i>). | 36 |
| 4.9 | Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Nuno Álvares Pereira [35]. | 38 |
| 4.10 | Vista aérea da Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Nuno Álvares Pereira (fonte: <i>Google Maps</i>). | 38 |
| 4.11 | Instituto Politécnico de Tomar [36]. | 39 |
| 4.12 | Vista aérea do Instituto Politécnico de Tomar (fonte: <i>Google Maps</i>). | 39 |
| 4.13 | Biblioteca Municipal de Tomar [37]. | 40 |
| 4.14 | Vista aérea da Biblioteca Municipal de Tomar (fonte: <i>Google Maps</i>). | 40 |
| 4.15 | Gráfico com os preços por tarifa de cada consumidor do Caso 1. | 42 |
| 4.16 | Gráfico com os volumes por tarifa de cada consumidor do Caso 1. | 42 |
| 4.17 | Gráfico com os preços por tarifa de cada consumidor do Caso 2. | 44 |
| 4.18 | Gráfico com os volumes por tarifa de cada consumidor do Caso 2. | 44 |
| 4.19 | Gráfico com os preços por tarifa de cada consumidor do Caso 3. | 46 |
| 4.20 | Gráfico com os volumes por tarifa de cada consumidor do Caso 3. | 46 |
| 4.21 | Janela principal do simulador. | 50 |
| 4.22 | Janela do simulador para a seleção dos membros da coligação. | 50 |
| 4.23 | Janela do simulador com o agente retalhista. | 51 |
| 4.24 | Janela do simulador com as várias estratégias de decisão. | 51 |
| 4.25 | Interface do contrato bilateral. | 51 |

| | |
|---|----|
| 4.26 Janela com os preços limite já pré-definidos. | 52 |
| 4.27 Janela de seleção da estratégia. | 52 |
| 4.28 Preços iniciais do retalhista. | 53 |
| 4.29 Janela com a troca de propostas do consumidor ENAP. | 53 |
| A.1 Preços do Mercado <i>Spot</i> para Junho de 2015 [38]. | 78 |
| A.2 Preços do Mercado <i>Spot</i> para Julho de 2015 [38]. | 79 |
| A.3 Preços do Mercado <i>Spot</i> para Agosto de 2015 [38]. | 80 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | Ciclo diário para BT (Baixa Tensão) para Portugal Continental [27]. | 22 |
| 2.2 | Ciclo semanal para Portugal Continental [27]. | 23 |
| 4.1 | Consumos e preços mensais da Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Gualdim Pais de Tomar. | 33 |
| 4.2 | Consumos e preços mensais da Escola Secundária de Jácome Ratton de Tomar. | 33 |
| 4.3 | Consumos e preços mensais da Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Santa Iria de Tomar. | 35 |
| 4.4 | Consumos e preços mensais da Escola Secundária Santa Maria do Olival de Tomar. | 37 |
| 4.5 | Consumos e preços mensais da Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Nuno Álvares Pereira de Tomar. | 37 |
| 4.6 | Consumos e preços mensais do Instituto Politécnico de Tomar. | 39 |
| 4.7 | Consumos e preços mensais da Biblioteca Municipal de Tomar. | 41 |
| 4.8 | Consumos totais do Caso 1. | 42 |
| 4.9 | Preços iniciais por tarifa de cada consumidor do Caso 1. | 43 |
| 4.10 | Preços limite por tarifa de cada consumidor do Caso 1. | 43 |
| 4.11 | Consumos totais do Caso 2. | 44 |
| 4.12 | Preços iniciais por tarifa de cada consumidor do Caso 2. | 45 |
| 4.13 | Preços limite por tarifa de cada consumidor do Caso 2. | 45 |
| 4.14 | Consumos totais do Caso 3. | 46 |
| 4.15 | Preços iniciais por tarifa de cada consumidor do Caso 3. | 47 |
| 4.16 | Preços limite por tarifa de cada consumidor do Caso 3. | 47 |
| 4.17 | Preços iniciais do agente Retalhista. | 48 |
| 4.18 | Preços limites do agente Retalhista. | 48 |
| 4.19 | Ciclo diário dos tarifários de energia em Portugal Continental [26]. | 49 |
| 5.1 | Preços simulados para o Caso 1. | 55 |
| 5.2 | Preços simulados para o Caso 2. | 56 |
| 5.3 | Preços simulados para o Caso 3. | 56 |
| 5.4 | Percentagem de cada volume por tarifa em relação ao volume total de contrato, por Consumidor. | 57 |

| | | |
|------|--|----|
| 5.5 | Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra <i>Simple Majority</i> | 58 |
| 5.6 | Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra <i>Simple Majority</i> | 58 |
| 5.7 | Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra <i>Similarity Simple Voting</i> | 58 |
| 5.8 | Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra <i>Similarity Simple Voting</i> | 59 |
| 5.9 | Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra <i>Similarity-Based Unanimity Borda Voting</i> | 59 |
| 5.10 | Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra <i>Similarity-Based Unanimity Borda Voting</i> | 59 |
| 5.11 | Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra <i>Simple Majority</i> | 60 |
| 5.12 | Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra <i>Simple Majority</i> | 60 |
| 5.13 | Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra <i>Similarity Simple Voting</i> | 61 |
| 5.14 | Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra <i>Similarity Simple Voting</i> | 61 |
| 5.15 | Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra <i>Similarity-Based Unanimity Borda Voting</i> | 62 |
| 5.16 | Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra <i>Similarity-Based Unanimity Borda Voting</i> | 62 |
| 5.17 | Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra <i>Simple Majority</i> | 63 |
| 5.18 | Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra <i>Simple Majority</i> | 63 |
| 5.19 | Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra <i>Similarity Simple Voting</i> | 64 |
| 5.20 | Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra <i>Similarity Simple Voting</i> | 64 |
| 5.21 | Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra <i>Similarity-Based Unanimity Borda Voting</i> | 64 |
| 5.22 | Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra <i>Similarity-Based Unanimity Borda Voting</i> | 65 |
| 5.23 | Preços simulados usando a regra <i>Simple Majority</i> | 65 |
| 5.24 | Comparação entre o Caso 1/Caso 2 e entre o Caso 1/Caso 3 usando a regra <i>Simple Majority</i> | 66 |
| 5.25 | Preços simulados usando a regra <i>Similarity Simple Voting</i> | 66 |

| | |
|--|----|
| 5.26 Comparação entre o Caso 1/Caso 2 e entre o Caso 1/Caso 3 usando a regra <i>Similarity Simple Voting</i> | 67 |
| 5.27 Preços simulados usando a regra <i>Similarity-Based Unanimity Borda Voting</i> . . . | 67 |
| 5.28 Comparação entre os preços simulados (Anuais) e o contrato real (Anual) para o Caso 1. | 68 |
| 5.29 Comparação entre os preços simulados (Anuais) e o contrato real (Anual) para o Caso 2. | 68 |
| 5.30 Comparação entre os preços simulados (Anuais) e o contrato real (Anual) para o Caso 3. | 69 |
| 5.31 Poupança obtida a partir da comparação entre os valores da tabela 5.30 e a estratégia mais benéfica e a percentagem em relação ao contrato atual. | 69 |

GLOSSÁRIO

AT Alta Tensão.

BT Baixa Tensão.

CNE Comissão Nacional de Energia.

CPPE Companhia Portuguesa de Produção de Eletricidade.

EDP Energias de Portugal.

EMCAS Electric Market Complex Adapted System.

ERSE Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.

JADE Java Agent Development Framework.

MASCEM Multi-Agent System that Simulates Competitive Electricity Markets.

MIBEL Mercado Ibérico de Energia Elétrica.

MT Média Tensão.

OMIClear Operador de Mercado Ibérico de Compensação do mercado de derivados.

OMIE Operador de Mercado Ibérico do Polo Espanhol.

OMIP Operador de Mercado Ibérico do Polo Português.

PRE Produção em Regime Especial.

REE Rede Elétrica de Espanha.

REN Rede Elétrica Nacional.

RNT Rede Nacional de Transporte.

SEI Sistema Elétrico Independente.

SEN Sistema Elétrico Nacional.

GLOSSÁRIO

SEP Sistema Elétrico de Serviço Público.

SEPIA Simulator for the Electric Power Industry.

SMA Sistema Multi-Agente.

INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se o enquadramento do trabalho, bem como a estrutura e objetivos da presente dissertação.

1.1 Enquadramento Teórico e Motivações

A produção, distribuição e comercialização de energia elétrica foram introduzidas em Portugal no final do século XIX, na cidade de Lisboa. O intuito inicial era garantir energia elétrica para iluminação pública e pequenos usos domésticos.

Na década de 40, do século XX, o governo Português estabeleceu como prioridades o desenvolvimento de centrais hidroelétricas, que iriam estar, mais tarde, na origem da criação do Sistema Elétrico Nacional (**SEN**), e a criação de uma política de promoção do consumo de energia elétrica em Portugal, além do incentivo à participação de entidades privadas nos investimentos e concessões.

Em 1976, nasceu a empresa "Energias de Portugal"(**EDP**), resultante da fusão de 13 empresas, que tinham sido nacionalizadas no ano anterior [1]. A EDP ficaria encarregue de eletrificar o país inteiro, além de modernizar as redes que garantiam a distribuição de energia elétrica e estabelecer um tarifário único para os seus clientes.

Em 1991, foi introduzido um plano de reestruturação da empresa e em 1994 a EDP dividiu as áreas de produção, transporte e distribuição. A área de produção passou para a Companhia Portuguesa de Produção de Eletricidade (**CPPE**), e o transporte para a Rede Elétrica Nacional (**REN**), que gere também a ligação com Espanha. Por fim, a distribuição

seguiria para quatro entidades diferentes (Eletricidade do Norte, Eletricidade do Centro, Eletricidade de Lisboa e Vale do Tejo e Eletricidade do Sul), que no ano 2000 se fundiram originando a EDP Distribuição.

Em 1995, o governo introduziu um pacote de leis de modo a organizar e reestruturar o mercado, dando origem ao Sistema Elétrico Nacional (SEN), que tem por base o Sistema Elétrico de Serviço Público (SEP) e o Sistema Elétrico Independente (SEI).

Na sequência da implementação da Lei Base de Eletricidade (decreto-lei 172/2006), os sectores vinculado e não vinculado do Sistema Elétrico Nacional (SEN) foram substituídos por um sistema de mercado único. As atividades de produção e comercialização de eletricidade e a gestão dos mercados de eletricidade organizados passaram gradualmente a estar abertas à concorrência, sujeitas à obtenção de licenças e aprovações necessárias [2]. Contudo, as entidades de transporte e distribuição na indústria de eletricidade continuam a ser desenvolvidas através de concessões públicas atribuídas [2].

A liberalização do mercado foi feita de forma faseada entre 1995 e 2006. Mas só em 2006, os consumidores passaram a ter poder de escolha do seu fornecedor de eletricidade. Com o processo de liberalização e com o desenvolvimento do mercado interno são esperadas melhorias dos preços e da qualidade dos serviços fornecidos, associados a um aumento na concorrência pelo fornecimento de eletricidade [3].

Com os mercados liberalizados, e de forma a facilitar a sua simulação, apareceram sistemas complexos de previsão de preços e apoio na decisão baseados em *software* Multi-Agente. Os agentes computacionais permitem simular o mercado de forma rigorosa, porque possuem características únicas capazes de ajudar a lidar com a complexidade dos mercados de eletricidade.

1.2 Objetivos

Apesar do tema de alianças ou coligações de consumidores ainda ser um assunto algo desconhecido em Portugal, já existem algumas coligações a nível internacional, como por exemplo a *Carbon Co-op* (<http://carbon.coop/>) em *Manchester*, Reino Unido. A função desta é mostrar o poder das comunidades e trazer melhorias nos preços, qualidade e segurança no fornecimento de energia elétrica para os seus associados.

Nesta dissertação, pretende-se fazer um estudo sobre coligações de consumidores e respetiva análise dos benefícios, usando consumidores reais e a negociação de contratos com um agente retalhista.

Para esse estudo, são utilizados três estratégias de decisão, para a negociação entre os consumidores dentro da coligação, além de uma estratégia aberta a concessões consoante o volume de energia negociado, para a interação entre a coligação e o agente retalhista.

Para atingir os objetivos conta-se com a ajuda de um sistema multi-agente, o simulador MAN-REM, desenvolvido no Laboratório Nacional de Energia e Geologia, que permite aos utilizadores negociarem contratos bilaterais [4] e coligações de consumidores de energia elétrica [5] [6]. Definem-se os casos de estudo, envolvendo alianças entre consumidores reais, e negociam-se novos preços para cada utilizador da coligação, sob a forma de contratos bilaterais.

Após as simulações, comparam-se e analisam-se os resultados obtidos, de modo a verificar os benefícios de uma aliança ou coligação em relação a uma negociação de cada consumidor individual com um retalhista.

Realçam-se, pois, os seguintes objetivos:

- Estudo da dinâmica da contratação bilateral de energia, com particular destaque para os contratos *forward*;
- Adoção do modelo de negociação desenvolvido por Lopes et al. [7] [8] e estendido por [9] e Lopes et al. [10] [4];
- Estudo da formação e gestão de coligações entre consumidores finais de energia elétrica;
- Estudo da dinâmica de contratação bilateral envolvendo retalhistas e alianças de consumidores;
- Estudo do simulador multi-agente MAN-REM, que incorpora o modelo de negociação referido, bem como permite simular a contratação bilateral entre alianças de consumidores e retalhistas;
- Estudo detalhado de casos práticos envolvendo alianças de consumidores reais, cujos resultados permitem tirar ilações sobre o tema da dissertação;
- Análise e comparação dos resultados de nove simulações (três por caso de estudo cada uma com uma diferente estratégia de decisão) usando as alianças de consumidores reais no simulador multi-agente MAN-REM.

1.3 Contribuições Originais

O desenvolvimento desta dissertação, com a ajuda do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, vem no seguimento de outros trabalhos efetuados no âmbito do projeto MAN-REM (<http://www.lneg.pt/iedt/projectos/473/>), que envolve o desenvolvimento de

um simulador para mercados de eletricidade.¹

A presente dissertação apresenta várias contribuições, entre as quais se destacam:

- Estudo da formação de coligações de consumidores de eletricidade.
- Estudo da dinâmica da contratação bilateral entre retalhistas e agentes representantes de coligações de consumidores finais. Trabalho desenvolvido foi efetuado no sentido de se analisar em detalhe os benefícios da formação de coligações entre consumidores de eletricidade e, tendo em conta o inerente acréscimo de poder negocial, as melhorias nas condições contratuais.
- Desenvolvimento de casos de estudo com sete consumidores reais, nomeadamente:
 1. Cinco Escolas públicas da cidade de Tomar;
 2. Uma Biblioteca Municipal da cidade de Tomar;
 3. O Instituto Politécnico de Tomar.
- Análise do benefício de diferentes formas de coligação entre consumidores reais, de acordo com o seu padrão de consumo. Análise do benefício da formação de coligações na negociação de condições contratuais em comparação com a negociação de contratos entre retalhistas e consumidores individuais. Por outras palavras, análise dos benefícios da formação de coligações de consumidores, através da comparação com contratos obtidos na negociação envolvendo um retalhista e (i) coligados ou (ii) consumidores individuais.
- Escrita de um artigo: "Consumers' Alliances, Bilateral Negotiation of Electricity and Contracts' Management", que descreve os casos de estudo e apresenta os resultados obtidos na presente dissertação.

1.4 Estrutura

A dissertação encontra-se estruturada em sete capítulos. O primeiro capítulo é uma introdução teórica, onde se descreve sumariamente a origem da energia elétrica em Portugal e o papel de algumas entidades, incluindo também um resumo da estrutura desta dissertação e dos objetivos propostos.

No segundo capítulo efetua-se um enquadramento teórico, onde são introduzidos os conceitos base sobre mercados de energia elétrica e alguns dos seus participantes, é efetuado um resumo das características dos sistemas multi-agente ligados aos mercados de energia elétrica. Neste capítulo, são também introduzidos os tarifários de energia elétrica,

¹Trabalho realizado no âmbito do projecto MAN-REM (FCOMP-01-0124-FEDER-020397), financiado pelo FEDER através do programa COMPETE- Programa Operacional Temático Factores de Competitividade, e pela FCT- Fundação para a Ciência e Tecnologia

os preços e horários, parte essencial para a análise dos dados associados às coligações.

O terceiro capítulo está associado às alianças de consumidores, onde são descritas as suas características e funções, bem como as estratégias de negociação associadas com o agente retalhista, e as estratégias de decisão entre os agentes coligados.

No quarto capítulo, são apresentados os casos de estudo, descrevendo-se os consumidores reais e as suas respetivas características, bem como a integração dos consumidores em diferentes coligações e também parte do simulador MAN-REM.

No penúltimo capítulo, são analisados os resultados obtidos a partir das simulações, usando as coligações referidas no capítulo quatro, e são retiradas as principais conclusões necessárias dos resultados obtidos.

Finalmente, no capítulo seis apresentam-se conclusões do trabalho desenvolvido, através de uma síntese dos resultados e sugerem-se possíveis desenvolvimentos que poderão ser feitos em trabalhos futuros.

ESTADO DA ARTE

Este capítulo apresenta uma descrição dos mercados de eletricidade e das suas entidades envolvidas, seguidamente fez-se uma descrição das principais características dos sistemas multi-agentes e, por fim, são apresentados os tarifários de energia elétrica, divididos em preços e períodos.

2.1 Mercados de Energia Elétrica

Os mercados de energia elétrica servem o objetivo de compra e venda de eletricidade, para uma compreensão melhor da sua utilidade e características é necessário saber distinguir entre mercados simétricos e assimétricos, organizados e não-organizados e compreender alguns acrónimos, tais como [MIBEL](#), [OMIP](#), [OMIE](#), [OMIClear](#), [ERSE](#), [REN](#) ou [REE](#), entre outros que irão ser introduzidos nos textos seguintes.

Um mercado simétrico pode ser definido como um mercado tipo *pool*, ou seja, um mercado onde são licitadas ofertas de compra e venda de preços e quantidades de energia elétrica, aberto a todos os agentes de mercado. É fortemente regulado, logo, é responsabilidade do operador de mercado português ([OMIP](#)) e do polo espanhóis ([OMIE](#)) [11]. Para além destes, existem os operadores do sistema que comunicam com os operadores de mercado, de modo a viabilizar uma compra de energia elétrica, garantindo que a linha não está congestionada e mantendo o nível de qualidade e segurança no sistema.

Por sua vez, um mercado assimétrico é também do tipo *pool*, mas neste caso a procura é estimada pelo operador do sistema e só é permitida a entrada de agentes produtores de eletricidade. Assim não é estabelecido quem compra ou vende mas apenas a viabilidade

do conjunto de transações [11].

Se é falado em produtores, também é necessário referir outros agentes de mercado, os primeiros estão associados a um mercado grossista em que o que é produzido é colocado no mercado pool para ser licitado, ou seja, os agentes produtores procuram colocar e negociar em mercado a energia que produzem enquanto agentes como os comercializadores vão estar associados a um mercado retalhista, em que concorrem entre si para a compra e venda de energia com o objetivo final de satisfazer os seus clientes, num mercado retalhista.

Interessa, também, referir que entre os agentes produtores e comercializadores existem operadores responsáveis pelo transporte da energia elétrica e pelo desenvolvimento, exploração e manutenção da Rede Nacional de Transporte (RNT), das suas interligações com outras redes e a gestão técnica do Sistema Elétrico Nacional (SEN). Isto é da responsabilidade da Rede Elétrica Nacional (REN) em Portugal e da Rede Elétrica de Espanha (REE) [12].

Em 2003 foi constituído o Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL), que atua como agente de integração e cooperação dos sectores elétricos português e espanhol, e tem como fim [11]:

1. Melhorar a qualidade dos serviços;
2. Baixar o preço da energia elétrica;
3. Incentivar a concorrência, de modo a baixar os preços a nível de produção e distribuição;
4. Permitir a escolha, ao consumidor final, de um comercializador que garanta o fornecimento de energia elétrica segundo a entidade reguladora dos preços para a eletricidade (ERSE/CNE).

Na figura 2.1, está apresentada a estrutura do MIBEL, em que pode ser observado os tipos de mercados associados ao operador de mercado do polo português e os que estão associados ao mesmo operador mas do polo espanhol, bem como os clientes que participam em cada um.

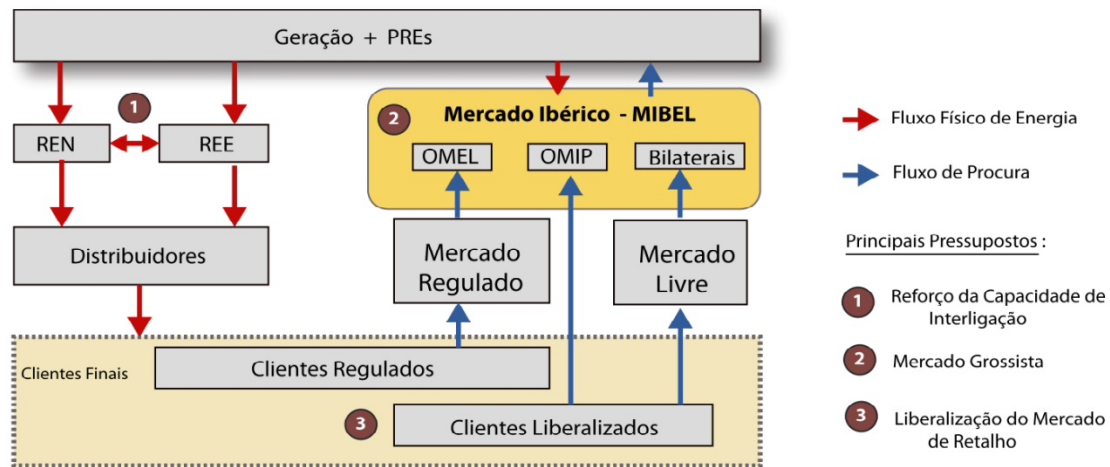


Figura 2.1: Estrutura do MIBEL [11].

Nas próximas secções serão abordados e distinguidos os diferentes mercados de eletricidade.

2.2 Mercado Grossista

No âmbito do processo de liberalização dos mercados, em que as atividades de redes se consideram monopólios naturais e são, por isso, objeto de regulação económica, a produção e a comercialização de eletricidade estão abertas à concorrência, com a justificação económica de introduzir maior eficiência na gestão e operação dos recursos afetos a estas atividades [13].

A produção de energia, com a liberalização do mercado, está associada a um mercado grossista em que o volume de energia produzido é colocado no mercado para ser negociado.

A estas actividades principais, o modelo de liberalização do sector elétrico veio acrescentar a existência de mercados organizados, que se constituem como plataformas de negociação tendencialmente independentes dos agentes tradicionais que actuam nas actividades de produção e de comercialização de eletricidade [13].

No mercado grossista, a aquisição de energia pode ser feita de diferentes formas, como para o dia seguinte (mercado diário) ou para prazos mais longos (mercado a prazo).

Nas subsecções seguintes descrevem-se as várias formas de negociação.

2.2.1 Mercado Diário

O mercado diário, tipo *pool*, funciona através da licitação de ofertas de compra e venda pelos agentes registados para participarem neste mercado. Cada oferta, de compra ou venda, deve indicar o dia, a hora a que se reporta, o preço e a quantidade de energia.

Os preços de mercado resultam da interação entre um processo em que a curva de oferta é ordenada de forma crescente e de forma decrescente a curva de procura, da energia elétrica para uma dada hora, como pode ser visto na figura 2.2. A interseção entre estas curvas define o preço de fecho e o volume de energia transacionada [11].

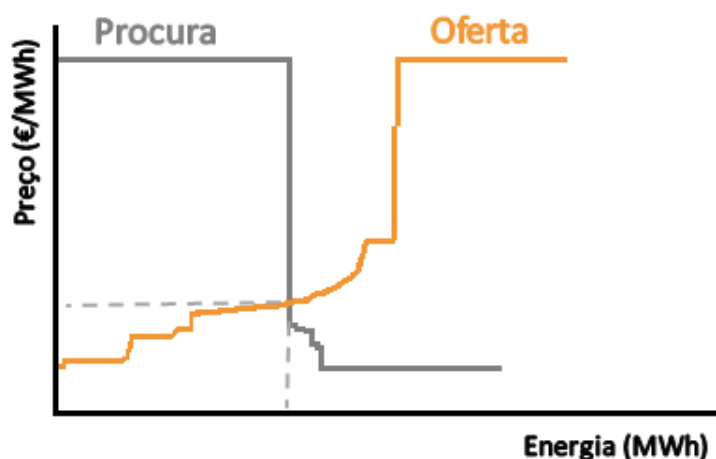


Figura 2.2: Curva de oferta e procura no mercado diário [14].

Neste processo, o operador de mercado vai comunicar quais foram as licitações aceites e o operador de sistema fica responsável pela análise e verificação da possibilidade de injetar ou consumir as quantidades de energia licitadas, de modo a garantir a fiabilidade e segurança do sistema. Só após o operador de sistema finalizar a verificação do congestionamento da rede pode a operação negociada no mercado diário pode ser finalizada e a energia negociada entregue. No caso de a verificação falhar, terá que haver uma comunicação entre ambos os operadores para resolver a situação sem pôr em causa a segurança ou a qualidade do sistema.

Este tipo de mercado organizado é gerido, regulado e definido pelo operador de mercado do polo espanhol (OMIE), que é responsável pela definição das regras, a admissão, a exclusão ou suspensão dos agentes envolvidos, além da gestão do cumprimento das regras e das operações do mesmo.

Quando os preços apresentam diferenças em cada país, no mercado diário, diz-se que há um market splitting. E essa diferença entre os preços de cada área de mercado é denominado como um spread de preços. Isto pode acontecer devido a vários fatores como a organização estrutural da produção em cada uma das áreas, insuficiência das capacidades de interligação ou comportamento dos agentes [14].

2.2.2 Mercado Intradiário

Este nível de mercado funciona de forma complementar ao mercado diário, logo, é um mercado de ajustes em que é introduzida ou retirada energia, conforme as ofertas registradas.

A interseção das curvas de oferta de venda (forma crescente) e curva de oferta de compra (decrecente) definem o preço de cada período e a quantidade de energia transacionada, e, neste mercado, são feitos ajustes no sistema, caso necessário, de modo, a garantir a fiabilidade, segurança e qualidade do sistema [11].

Neste mercado, é permitido a participação de todos os agentes que comercializaram energia elétrica no mercado diário ou em contratos bilaterais. Essa participação pode ser feita de forma obrigatória, licitando só em mercado do tipo *pool*, ou voluntária em que pode ser feita no mercado *pool* ou através de contratos bilaterais.

Como é apresentado na figura 2.3, existem 6 sessões de mercado intradiário para ajustes [14]:

- Últimas 4 horas do dia de negociação e as 24 horas do dia seguinte (1ª sessão);
- 24 horas do dia seguinte à negociação (2ª sessão);
- 20 horas que compreendem entre a hora 5 e a 24 do dia seguinte à negociação (3ª sessão);
- 17 horas que compreendem entre a hora 8 e a 24 do dia seguinte à negociação (4ª sessão);
- 13 horas que compreendem entre a hora 12 e a 24 do dia seguinte à negociação (5ª sessão);
- 9 horas que compreendem entre a hora 16 e a 24 do dia seguinte à negociação (6ª sessão).

Este mercado está disponível todas as horas do dia e todos os dias do ano.

Tal como o diário, este mercado é regulado pelo OMIE e está associado a um mercado grossista.



Figura 2.3: Sessões do mercado intradiário [14].

2.2.3 Mercado a Prazo

O mercado a prazo, regulado pelo operador de mercado português (OMIP), é um mercado do tipo *pool*, mas que permite aos agentes compradores e vendedores de energia a possibilidade de fazerem contratos para vários períodos, sejam eles semanas, meses, trimestres ou anos, de acordo com regras de mercado. O OMIP define as regras, a admissão, a exclusão ou suspensão dos agentes envolvidos, além de gerir o cumprimento das regras e das operações do mesmo, além disto controla as operações nas negociações contratuais.

O operador de mercado português garante instrumentos de gestão de risco sob a forma de contratos de derivados. Estes instrumentos são contratos de compra e venda de energia para uma determinada maturidade no futuro e variam conforme as necessidades de gestão do risco e de troca de eletricidade entre os diferentes agentes [15].

2.2.3.1 Contratos de Derivados

Estes tipos de instrumentos oferecidos para gestão do risco são [15]:

- Contrato Futuro - contrato com padrão (volume de energia e preço nominal) para um determinado período e onde o agente comprador compra a energia negociada a partir de uma data futura e o agente vendedor tem que disponibilizar essa mesma quantidade a partir dessa data por um preço pré determinado.

Estes tipos de contratos garantem liquidações diárias, margens, entre o preço da transação e o preço futuro de mercado para cada dia.

Os agentes ligados ao contrato não se relacionam entre si, cabendo ao OMIClear, como câmara de compensação a responsabilidade de liquidar as margens e fazer cumprir o contrato para as datas ou períodos de entrega.

- Contrato *Forward* - Semelhante ao tipo de contrato anterior, mas sem liquidações diárias (margens) durante as negociações. Assim, é saldado na íntegra quando a quantidade, contratualizada, de energia for entregue fisicamente.

- Contrato SWAP - contrato padrão em que é trocado uma posição com preço variável por outra com preço fixo, ou vice-versa, logo, limita-se à gestão do risco financeiro, não havendo períodos de entrega mas só, apenas, as liquidações das margens que correspondem ao contrato. Este tipo de contratos é específico para um tipo de agentes chamados especuladores, que comprem contratos de eletricidade com a esperança de vender a um preço melhor no futuro, baseando-se nos preços do mercado *spot* na altura da venda, apesar de não conseguirem produzir ou consumir energia elétrica.

2.2.3.2 Características

A quantidade nominal para um contrato futuro no OMIP é de 1 MW, havendo dois tipos de produtos [15]:

- Produto base (*baseload*) - quantidade não varia para as horas de um certo período;
- Produto pico (*peakload*) - quantidade não varia para as 16 horas de pico (9h - 24h) para os dias úteis.

Pode haver diferentes tipos de liquidação de contratos (tendo como referência o preço no mercado *spot*) [15]:

- Liquidação física - pressupõe entrega física da energia elétrica;
- Liquidação a dinheiro vivo (*Cash-Settlement*) - liquidação, meramente, a nível financeiro.

O OMIP, permite também liquidações *over-the-counter*, em que é o mercado organizado que assume o risco de crédito dos agentes envolvidos.

Nos mercados a prazo, as negociações podem-se fazer de duas maneiras [15]:

- Em Contínuo - nos horário de negociação definido nos regulamentos;
- Em Leilão - em que são realizadas sessões de leilão onde os comercializadores de último recurso ibéricos são obrigados a comprar.

Tal como o mercado diário e intradiário, este tipo de mercado está associado a um mercado grossista, e para clientes liberalizados.

2.3 Mercado Retalhista

Com a liberalização dos mercados de energia, o consumidor pode escolher livremente o seu fornecedor de energia. Assim, o mercado retalhista distingue-se por ser a comercialização final de eletricidade entre um agente retalhista e um agente consumidor ou uma coligação de consumidores.

Os preços neste mercado, estão diretamente ligados ao grossista, pois variam conforme a evolução no mercado tipo *pool*, ou seja, o preço final de comercialização ao consumidor é influenciado pelos custos totais no mercado grossista para o agente retalhista.

Na secção 2.6, é explicado como é definido o preço final através de tarifas.

2.3.1 Contratos Bilaterais

O mercado de contratos bilaterais está associado ao mercado livre para clientes liberalizados, pelo mercado ibérico de energia elétrica (MIBEL).

Os contratos bilaterais envolvem dois agentes, um agente comprador e um vendedor, em que os preços são, geralmente, fixos. A negociação envolve apenas os dois lados interessados e a negociação é feita diretamente entre ambos, resultando em negociações onde são discutidos preços fixos, períodos de contrato, termos e condições contratuais. Podem envolver contratos longos, sendo possível a liquidação *over-the-counter*. Para contratos longos, com a finalidade de gerir riscos financeiros, oferecem-se contratos de derivados, que tal como no mercado a prazo apresentam vários tipos de contrato conforme o risco.

Este tipo de mercado estabiliza os preços, visto que é um modelo rígido, garantindo a segurança do preço da energia elétrica. Isto acontece porque é um contrato físico com um tempo pré determinado, ou seja, a grande vantagem deste tipo de mercado é que reduz a volatilidade dos preços no mercado *pool*.

Mas também apresenta desvantagens como o risco de ser feito um mau contrato, devido a uma previsão errada da carga ou a incerteza nos preços dos combustíveis [11].

Nestes contratos, o operador de sistema tem as funções de coordenar o despacho em tempo real, enquanto o operador de mercado organiza e gere as transações entre os dois agentes. Também se pode referir que os contratos bilaterais entram na área de responsabilidades da OMIP, operador de mercado do polo português [11].

Para cobrir os riscos financeiros, existem os contratos de derivados que ajudam na mitigação dos riscos. Entre estes tipos de contratos destacam-se os contratos futuros, forward, swap, opções e por diferenças, que serão a seguir descritos.

2.3.1.1 Contrato Futuros

Os contratos Futuros são contratos padrão (volume de energia e preço nominal) para um determinado período e onde o agente comprador compra a energia negociada a partir de uma data futura, e o agente vendedor tem que disponibilizar essa mesma quantidade a partir dessa data por um preço e condições pré determinadas. Estes tipos de contratos garantem liquidações diárias, margens, entre o preço da transação e o preço futuro de mercado para cada dia [11].

Cabe ao operador de mercado que gere os riscos financeiros, OMIClear, a responsabilidade de liquidar as margens diárias e o contrato na data ou período de entrega, evitando que as entidades compradoras e vendedoras se relacionem entre si.

2.3.1.2 Contrato *Forward*

Os contratos *Forward* são contratos em que ambas as partes, vendedora e compradora, negociam entre si uma quantidade de energia e um preço fixo a serem liquidados numa determinada data. Existem semelhanças com os contratos futuros, mas estes não têm margens diárias e a quantidade em contrato é liquidada integralmente nos dias da entrega física e financeira [11].

2.3.1.3 Contrato SWAP

Os contratos SWAP, são contratos em que é trocado uma posição com preço variável por outra com preço fixo, ou vice-versa. Como é destinado a cobrir o risco financeiro, neste caso, não existe entrega física da energia mas, apenas, liquidação das margens correspondentes. Neste tipo de contratos surge um novo agente, especulador, que compra e vende contratos de energia elétrica para comercializar no futuro aos preços do mercado *spot*, mas não produz ou consome eletricidade.

2.3.1.4 Contrato por Opções

Os contratos por opções, podem assumir duas modalidades como *call* e *put*. Na primeira a entidade que detém o contrato tem o direito, e não a obrigação, de comprar uma quantidade de energia a um preço fixo (*exercise price*) que estão pré contratualizados, na segunda opção, *put*, o detentor pode vender uma quantidade de energia a um preço fixo (*exercise price*) definido no contrato [16].

2.3.1.5 Contrato por Diferenças

Finalmente, nos contratos por diferenças não há liquidação física de energia, entre o agente comprador e o vendedor, pois o vendedor continua a vender no mercado *spot* [17]. A entidade compradora, também continua a comprar no mercado *spot*, exposto às mudanças de preço [17]. Como a finalidade do agente comprador é obter um preço fixo, apesar das flutuações do preço no mercado *spot*, pode-se estabelecer um contrato bilateral entre ambas as partes. Mas, neste caso, esse preço fixo, ou *strike price*, será o negociado em contrato bilateral, enquanto o preço de referência será o preço da energia elétrica associado ao mercado *spot*. Assim, para um contrato por diferenças se o preço de referência estiver abaixo do *strike price*, o vendedor será reembolsado e se o preço de referência estiver acima do preço fixo, o vendedor compensa a diferença ao agente comprador [17].

2.4 Agentes do Mercado Elétrico

O mercado de energia elétrica inclui várias entidades que supervisionam e garantem o correto funcionamento do mesmo, seja esse mercado grossista ou retalhista, diário, intradiário, a prazo ou contratos bilaterais. Alguns desses agentes vão ser analisados nas subsecções seguintes.

2.4.1 Operador de Mercado

Os operadores de mercado têm o objetivo de definir as regras de mercado, admitir, excluir ou suspender os agentes envolvidos, e gerir o cumprimento das regras e as operações do mesmo.

Cada uma das áreas do MIBEL, Portugal e Espanha, têm o seu específico operador de mercado, assim, na Espanha opera o OMIE, e no polo português o OMIP.

O OMIE é o agente responsável pela gestão do mercado *spot*, que inclui o mercado diário e o mercado de ajustes intradiário.

As suas funções são [18]:

- Gerir os preços dos mercados de energia elétrica, sejam eles organizados ou não organizados, nacionais ou internacionais;
- Gerir a liquidação das transações nos mercados de energia elétrica.

O OMIP é responsável pelo mercado a prazo do MIBEL e tem como objetivos [18]:

- Ajudar no desenvolvimento do MIBEL;
- Promover preços de referência ibéricos;
- Garantir uma gestão eficiente do risco;
- Eliminar algumas das limitações da liquidação *Over-the-Counter* (OTC).

O OMIP como entidade ligada aos mercados a prazo, regula [18]:

- Admissão de agentes;
- Listar e definir contratos, além da gestão das negociações respetivas;
- Coordenar com a OMIClear para o registo das operações;
- Garantir o bom funcionamento do mercado de compra e venda de eletricidade;
- Gerir e disciplinar, relativo aos seus agentes que constituem este mercado;
- Prestar e esclarecer os agentes públicos de mercado sobre as regras e preços oficiais no mercado a prazo.

Por fim, o terceiro operador de mercado age em conjunto com o OMIP para a gestão do risco, denomina-se por OMIClear e tem funções como câmara de compensação, contraparte central e sistema de liquidação. Além disso, o OMIClear age para definir as regras que regem a atividade, e pela admissão, suspensão e exclusão dos membros compensadores [18].

2.4.2 Operador de Sistema

Nesta componente do mercado elétrico, a responsabilidade das operações ou serviços de sistema, em Portugal, recai sobre a Rede Elétrica Nacional (REN) que é responsável pelo transporte da energia elétrica, isto é, pelo desenvolvimento, exploração e manutenção da Rede Nacional de Transporte (RNT), das suas interligações com outras redes e a gestão técnica do Sistema Elétrico Nacional (SEN) .

A gestão do SEN refere-se à coordenação das infraestruturas que o constituem de forma a garantir o seu funcionamento integrado e harmonizado, a segurança e a continuidade de fornecimento de eletricidade [19].

Para Espanha existe o Rede Eléctrica Espanhola (REE) que tem semelhantes responsabilidades à REN. Logo, a REE vai fazer a gestão técnica global do sistema eléctrico espanhol.

A REE separa a função de transporte, da geração e distribuição [19].

Para concluir, o operador de sistema tem como funções o transporte da energia eléctrica, além de se responsabilizar pela manutenção da segurança e qualidade do sistema eléctrico, garantindo um sistema eficaz e seguro, agindo em conjunto com o operador de mercado, como foi escrito na secção de mercados de energia, em que verifica a fiabilidade e segurança do sistema de modo a que não haja congestionamento nas linhas [20].

2.4.3 Produtor de Energia Eléctrica

A produção de eletricidade em Portugal ainda é, maioritariamente, produzida em centrais térmicas, mas nos últimos anos tem crescido a produção com recurso a fontes renováveis.

Dentro dessas fontes, destacam-se as centrais eólicas e mini-hídricas que detêm a maior fatia de energia produzida. Além disso, de destacar um aumento também na produção por co-geração (produção combinada de calor e eletricidade).

Na atividade de produção é promovida, por legislações em regimes jurídicos especiais, o uso de recursos renováveis ou recursos para produção combinada de calor e energia eléctrica, por isso a produção diz-se em regime especial (PRE) [21]. A produção em regime especial está sujeita a diferentes requisitos de licenciamento e beneficia de tarifas especiais [2].

O outro regime de produção de eletricidade denomina-se ordinário e inclui todas as outras fontes de energia eléctrica, incluindo as grandes centrais hidroeléctricas[2].

Por fim, a energia que é produzida pelas centrais é negociada em mercado grossista, para depois ser entregue aos agentes responsáveis pelo transporte.

2.4.4 Distribuidor de Energia Eléctrica

Na área de distribuição, as redes têm a função de escoar a energia eléctrica, vinda das centrais responsáveis pela produção ou geração de eletricidade, para subestações da Rede

Nacional de Transporte (RNT) e, por fim, para os consumidores.

Estas redes podem ser de alta tensão (AT), 60 kV, média tensão (MT), variável entre 30, 15 ou 10 kV, ou baixa tensão (BT), 400/230 V, e são identificadas por linhas aéreas ou cabos subterrâneos. As redes de distribuição são compostas por subestações, postos de transformação e seccionamento, e outros equipamentos acessórios para o seu funcionamento [22].

2.4.5 Comercializador de Energia Elétrica

Após a liberalização do mercado, as atividades de distribuição e comercialização foram separadas, o que permitiu a entrada de novas entidades competidoras no mercado de energia elétrica.

Assim, os comercializadores são a última atividade na cadeia de fornecimento, e podem comprar e vender eletricidade, caso cumpram as regras de mercado [23].

O comercializador de último recurso tem de gerir as diferentes formas de contratos com vista a adquirir a energia ao menor custo. Todos os desnecessários excessos de energias adquiridos pelo comercializador de último recurso são revendidos no mercado organizado [2].

O consumidor pode escolher o comercializador de último recurso que mais lhe agrada, ou seja, que lhe garantir melhores condições e segurança no fornecimento de energia elétrica.

2.5 Sistemas Multi-Agente

2.5.1 Introdução

Os Sistemas Multi-Agente (SMA) podem modelar sistemas complexos, introduzindo a possibilidade de haverem agentes com objetivos comuns ou adversos. Estes agentes interagem entre si indiretamente (por ações no ambiente) ou diretamente (por comunicação e negociação). Podem cooperar para benefício mútuo ou competir pelos seus interesses [24]. Então o agente pode ser [24]:

1. Autónomo - Age sem intervenção direta do ser humano e tem controlo sobre as suas ações;
2. Social - Cooperar com humanos e outros agentes para cumprir os objetivos;
3. Reativo - Percebe o ambiente que o rodeia e responde a alterações, no mesmo;

4. Pro-ativo - Na resposta a ações sobre o seu ambiente é capaz de tomar iniciativa e exibir comportamentos direcionados ao cumprimento dos seus objetivos.

Podem ainda ser, se necessário, móvel com a capacidade de viajar entre nós de uma rede de computadores, verdadeiro porque não comunica falsas informações, benevolente cumprindo, sempre, o que lhe é pedido, racional porque age de modo a cumprir os objetivos e nunca contra o cumprimento dos mesmos e, finalmente, adaptável porque pode aprender e adaptar-se ao ambiente e aos desejos do seu programador [24].

2.5.2 JADE

A Java Agent Development Framework ([JADE](#)) é uma plataforma computacional implementada com recurso a linguagem JAVA, para programação de sistemas Multi-Agente. Esta plataforma garante todas as características necessárias para o desenvolvimento dos sistemas, permitindo a mobilidade dos agentes e a possibilidade de execução em diferentes máquinas ou sistemas operativos [25].

2.5.3 SMA em Mercados de Energia Elétrica

Num mercado de energia elétrica, um sistema de multi-agentes, tem que ser capaz de simular tanto um mercado grossista como retalhista, assumindo um ambiente com vários tipos de agentes capazes de comunicar entre si, de modo, a haver uma negociação (envio e receção de propostas que podem ser aceites ou rejeitadas) entre eles.

Alguns SMA capazes de simular mercados de eletricidade são [4]:

- [MASCEM](#) (*Multi-Agent System that Simulates Competitive Electricity Markets*) é uma ferramenta capaz de usar técnicas de inteligência artificial sofisticada para modelação de agentes. É flexível e permite diferentes modelos de mercados de energia elétrica;
- [EMCAS](#) (*Electric Market Complex Adapted System*) é um software de agentes com competência para negociar e usar estratégias baseadas na aprendizagem e adaptabilidade à simulação do mercado;
- [SEPIA](#) (*Simulator for the Electric Power Industry*) é específico para análise de comportamentos dos participantes no mercado de energia elétrica e os seus impactos.

2.6 Tarifários de Energia Elétrica

O objetivo dos tarifários da energia elétrica, é promover de forma transparente a eficiência na afetação de recursos e a equidade e justiça das tarifas, mantendo, ao mesmo tempo,

o equilíbrio económico e financeiro das empresas reguladas, a qualidade no fornecimento e a estabilidade da evolução tarifária [26].

2.6.1 Preços

Para o cálculo dos preços de cada tarifa para venda ao consumidor final, o comercializador calcula a partir das tarifas de acesso às redes, estas incluem as atividades reguladas de transporte (tarifa de uso da rede de transporte e de uso global do sistema) e da distribuição (tarifa de uso da rede de distribuição), adicionadas à tarifa de energia pela entidade que gera a energia e, por fim, a tarifa de comercialização, aplicada pelo comercializador final, como pode ser visto na figura 2.4.

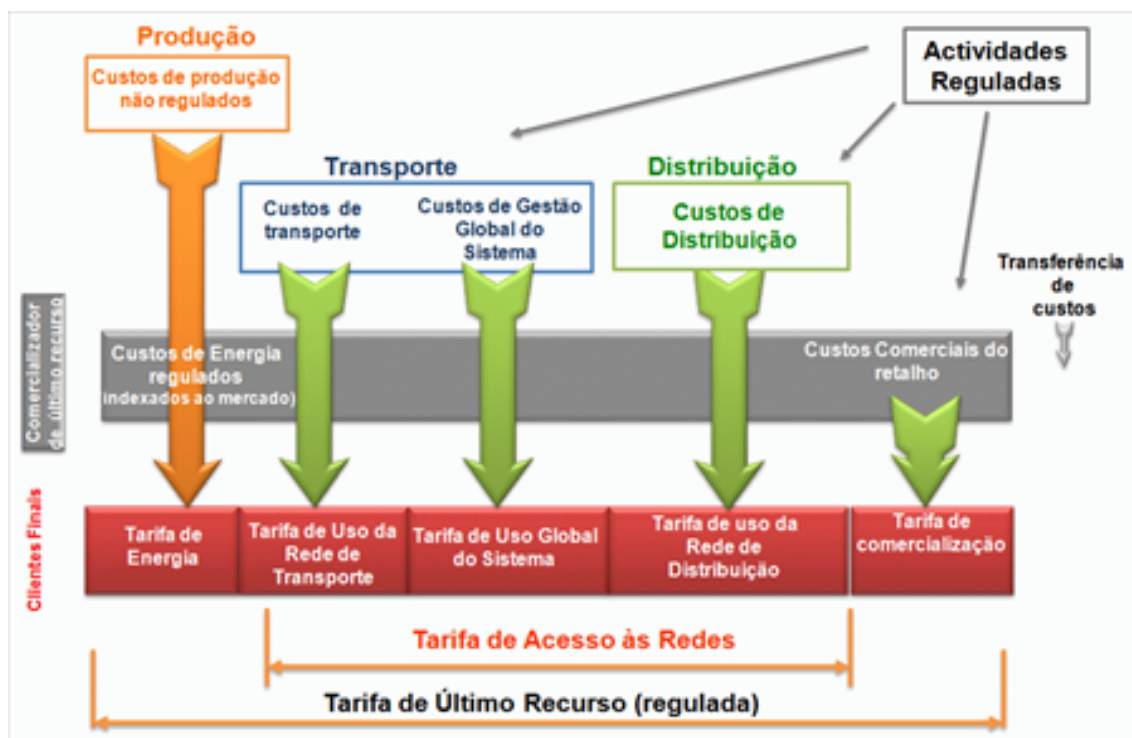


Figura 2.4: Tarifas e formação de preços [26].

2.6.2 Períodos

Existem quatro tipos de tarifas aplicadas pelo comercializador final, super-vazio, vazio, cheias e ponta, que diferem entre ciclo diário e semanal, como pode ser visto nas tabelas 2.1 e 2.2, se é período de Inverno ou Verão e se o consumidor é de Portugal Continental ou das Regiões Autónomas.

Para o ciclo diário os períodos são iguais todo o ano, enquanto no ciclo semanal diferem entre dias úteis e dias de fim-de-semana [27].

Tabela 2.1: Ciclo diário para BT (Baixa Tensão) para Portugal Continental [27].

| Período de hora legal de Inverno | Período de hora legal de Verão |
|---|---|
| Ponta: 09h00-10h30 18h00-20h30 | Ponta: 10h30-13h00 19h30-21h00 |
| Cheias: 08h00-09h00 10h30-18h00 20h30-22h00 | Cheias: 08h00-10h30 13h00-19h30 21h00-22h00 |
| Vazio: 06h00-08h00 22h00-02h00 | Vazio: 06h00-08h00 22h00-02h00 |
| Super Vazio: 02h00-06h00 | Super Vazio: 02h00-06h00 |

Tabela 2.2: Ciclo semanal para Portugal Continental [27].

| Período de hora legal de Inverno De segunda-feira a sexta-feira | Período de hora legal de Verão De segunda-feira a sexta-feira |
|--|--|
| Ponta: 09h30-12h00 18h30-21h00 | Ponta: 09h15-12h15 |
| Cheias: 07h00-09h30 12h00-18h30 21h00-24h00 | Cheias: 07h00-09h15 12h15-24h00 |
| Vazio: 00h00-02h00 06h00-07h00 | Vazio: 00h00-02h00 06h00-07h00 |
| Super Vazio: 02h00-06h00 | Super Vazio: 02h00-06h00 |
| Sábado | Sábado |
| Cheias: 09h30-13h00 18h30-22h00 | Cheias: 09h00-14h00 20h00-22h00 |
| Vazio: 00h00-02h00 06h00-09h30 13h00-18h30 22h00-24h00 | Vazio: 00h00-02h00 06h00-09h00 14h00-20h00 22h00-24h00 |
| Super Vazio: 02h00-06h00 | Super Vazio: 02h00-06h00 |
| Domingo | Domingo |
| Vazio: 00h00-02h00 06h00-24h00 | Vazio: 00h00-02h00 06h00-24h00 |
| Super Vazio: 02h00-06h00 | Super Vazio: 02h00-06h00 |

ALIANÇAS DE CONSUMIDORES

Após serem estudados os mercados de energia elétrica, os sistemas multi-agente e os tarifários de energia, apresenta-se neste capítulo o cerne desta dissertação, que são as alianças ou coligações de consumidores, e as suas características, estratégias de decisão, e estratégias de negociação com agentes retalhistas.

3.1 Introdução

Com a liberalização do mercado de energia elétrica a comercialização e distribuição separaram-se, e novas entidades retalhistas entraram no mercado, tornando possível aos consumidores escolher entre diferentes comercializadores, afim de conseguirem os melhores benefícios possíveis. Esses benefícios podem ser ao nível da qualidade ou segurança, quantidade ou preço.

Uma aliança ou coligação pode compreender qualquer tipo de consumidores, BT (Baixa Tensão), MT (Média Tensão) ou AT (Alta Tensão), sendo preferível ou mais interessante tentar coligar agentes com consumos de eletricidade semelhantes, em vez de agentes com grandes diferenças entre os mesmos.

3.2 Formação de Alianças

Uma aliança forma-se, geralmente, pela proximidade ou conveniência de consumidores numa certa área, mas, também, pelas necessidades ou interesses semelhantes de vários

consumidores [5].

Uma aliança funciona como uma posição de força numa negociação, permitindo, em princípio, obter resultados mais satisfatórios, em comparação com uma negociação entre apenas consumidores singulares e retalhistas.

3.3 Características das Coligações

Várias alianças, quando comparadas entre si, podem ter diferenças, quer ao nível da interação com outras entidades, sendo de realçar as estratégias de decisão e de negociação.

É importante referir que uma coligação que pretende comercializar energia elétrica por contratos bilaterais necessita normalmente de eleger ou contratar um representante, pois um contrato bilateral envolve duas entidades, um comercializador e um consumidor ou representante de um grupo de consumidores. O representante assume a responsabilidade da comunicação entre um retalhista e os elementos da aliança, participando diretamente nas negociações e assumindo e respeitando os interesses do grupo de consumidores que o elegeu.

Como regras gerais, para distribuição dos ganhos, de uma coligação de consumidores podemos assumir três tipos. A primeira em que um membro que contribua mais para a aliança deva receber mais que outro que contribua menos, ou seja, uma regra geral baseada na equidade. Este tipo de alianças pode ser injusto para alguns dos seus constituintes. Podemos então assumir uma regra mais justa em que todos os membros recebem o mesmo, regra baseada na igualdade, ou onde todos os elementos recebem a energia que necessitam, regra conforme as necessidades [6].

3.4 Estratégias de Decisão na Coligação

Como vimos na secção 3.3, uma coligação normalmente elege um representante que estará diretamente envolvido nas negociações com um agente retalhista. No entanto para ser apresentada uma proposta inicial, ou qualquer decisão que envolva a receção positiva ou negativa de contra-propostas haverá uma negociação entre os consumidores que constituem a aliança, que poderá ser na forma de uma votação, ou simplesmente uma decisão de delegar a responsabilidade ao representante.

Em particular, cada consumidor normalmente apresenta os seus interesses ao representante da coligação e daí resulta uma proposta que seguirá para o retalhista, de acordo

com uma das seguintes regras de decisão:

- Maioria absoluta (*Simple Majority*, SM): é uma das regras de decisão mais simples, pois qualquer proposta que receba uma maioria superior a 50% dos votos será escolhida. Ou seja, numa aliança com 5 membros, cada um enviando a sua proposta, a que receber três votos positivos será a escolhida. Logo, requer uma maioria absoluta.

- Maioria simples (*Similarity Simple Voting*, SSV): esta estratégia tem como objetivo evitar resultados de baixa qualidade quando cada consumidor tiver preferências ou opiniões diferentes. O representante da coligação serve como mediador e como coordenador do processo de voto. Cada membro da coligação envia a sua proposta anonimamente para o mediador. Após recebidas todas as propostas, este torna-as públicas e cada consumidor vota numa delas, anonimamente. Por fim, reporta aos consumidores ou membros da coligação os resultados e envia a proposta mais votada para o retalhista. Caso haja um empate nas propostas mais votadas, a escolha é aleatória [28]. A escolhida é a que tiver mais votos, mesmo que não seja mais de 50%, ou seja, numa aliança de 5 membros, se a proposta 1 tiver 2 votos, as propostas 2, 3 e 4 tiverem 1 voto cada, a proposta eleita é a número 1. Ou seja, para haver uma decisão basta uma maioria simples ou relativa.

- Unanimidade por classificação de propostas (*Similarity-Based Unanimity Borda Voting*, SBUBV): reflete a necessidade de evitar os problemas existentes com a regra de maioria. As estratégias de comunicação dentro da coligação são semelhantes aos da estratégia SSV, com a diferença que as propostas são classificadas (*Borda Voting*), e são aceites de maneira mais abrangente, conforme a ordem da classificação [28]. Ou seja, numa aliança de 5 coligados, cada um faz um *ranking* das propostas, em que a melhor leva 5 votos e a pior 1 voto, sendo aceite a que mais votos tiver.

- Unanimidade por construção de propostas em conjunto com o representante (*Full Unanimity Based Voting*, FUM): nesta regra pretende-se uma ação colaborativa dos agentes da aliança, que partilham com o mediador ou representante informações e opiniões do seu interesse, para que seja elaborada uma proposta que reflita mais de perto os interesses de cada um. O representante tem o papel de elaborar a proposta. Este exemplo pode ser dividido em quatro fases: partilha de informações, concessões dos oponentes, construção da oferta, e aceitação segundo os critérios da estratégia [28].

- Delegando para o representante (*Representative*): esta estratégia é uma das mais simples, pois cada membro delega no representante as decisões da coligação. Este comunica diretamente com o retalhista e decide qual oferta deve ser enviada ou se a proposta do retalhista deve ser aceite ou rejeitada [28].

3.5 Modelo de Negociação Bilateral

Nesta secção pretende-se descrever o modelo de negociação bilateral desenvolvido por [7] [8].

Tomando um conjunto de agentes autónomos, $A=(a_1, a_2)$, que vão participar numa negociação bilateral e $B=(x_1, \dots, x_k)$, o conjunto de itens que estarão em negociação, sendo cada um destes itens variáveis quantitativas definidas num intervalo $C_n = [\min_n, \max_n]$. Então para cada item, x_k haverá um limite representado por \lim_k .

Cada agente submete propostas em cada período do tempo, $T = (1, 2, \dots)$, e sendo o período $t \in T$, o agente a_1 envia propostas em períodos ímpares, por exemplo, enquanto o outro agente envia nos períodos pares. Cada agente tem a possibilidade de abandonar a negociação, como resposta a uma proposta do agente contrário [17].

A negociação inicia-se com o agente a_1 submetendo uma proposta $p_{1 \rightarrow 2}^1$ num período $t = 1$. Por sua vez o agente a_2 recebe a proposta e avalia qual a ação a tomar, aceitar, rejeitar ou fazer uma contra-proposta. Se escolher a terceira opção então a_2 envia uma contra-proposta $p_{2 \rightarrow 1}^2$ no período seguinte. Se em vez de continuar a negociação, o agente tomar qualquer outra decisão (aceitar ou rejeitar) a negociação terminará imediatamente. Este processo repete-se até que se chegue a um acordo ou seja terminada a negociação sem acordo por qualquer um dos lados. Chegando a um acordo, são então feitas as alocações dos itens em negociação.

Cada proposta representa um vetor de itens enviado por qualquer um dos agentes $a_{i,j} \in A$ no período $t \in T$ e assume a forma de $p_{i \rightarrow j}^t$, onde $v_k, k = 1, \dots, n$, é o valor de um item $x_k \in B$ [17].

Cada agente avalia a proposta vinda do oponente, atribuindo para cada item x_k um peso v_k , que é um número que representa a importância desse item na negociação. Para fazer a avaliação de uma proposta cada agente recorre a uma função de utilidade e o valor que é atribuído a cada um dos itens depende do resultado desta função de utilidade $v_k(x_k)$ [17]. Se uma proposta recebida é aceite, então a utilidade é superior à da proposta que o agente estiver pronto a enviar.

3.6 Estratégias de Negociação

O resultado de uma negociação vai sempre depender da estratégia escolhida pelos negociadores, com base nas motivações e interesses de cada um.

Existem várias estratégias, que correspondem a diferentes táticas de como abordar uma negociação, sendo de realçar [29] [30]:

1. Estratégias de concessão: onde um agente negociador fará concessões de modo a ajudar nas negociações;
2. Estratégias competitivas: estratégias onde uma das partes obriga a outra a ceder. Podendo incluir ameaças ou compromissos;
3. Estratégias de resolução de problemas: onde ambas as partes procurarão satisfazer os objetivos de cada uma, incluindo partilha de informação e cooperação de modo a chegar a uma resolução que satisfaça ambas as partes.

Para o sucesso de ambas as partes, ou só de uma das partes é importante a escolha de uma estratégia inicial, sendo parte fulcral da pré-negociação. Também pode ser assumido que durante uma negociação as motivações de um agente poderão mudar e, por sua vez, também a estratégia em uso por esse agente.

A motivação de um agente é essencial para o desfecho das negociações. Quando o agente apenas se preocupa com o seu desfecho pode ser considerado individualista. Mas se esse agente se preocupar também com os resultados do oponente, a motivação pode ser considerada cooperativa, ou se for só com os resultados do oponente então será altruísta. Se o agente assumir uma postura de desejar ser melhor sucedido do que o oponente, então a motivação assume um carácter competitivo [17].

CASOS DE ESTUDO

Neste capítulo são apresentados os consumidores reais, os valores obtidos relativo aos seus contratos de energia elétrica e as suas principais características. Descreve-se a formação das várias coligações que estão na base dos três casos de estudo. Por fim, apresenta-se o simulador MAN-REM.

4.1 Introdução

Pretende-se estudar a formação de uma aliança entre consumidores reais e observar e confirmar, por meio de diferentes regras de decisão, os seus benefícios reais após concluída a negociação com sucesso, comparando os resultados com as faturas reais (atuais) de cada um dos consumidores.

Como consumidores para o caso real, foram escolhidas cinco escolas, um instituto politécnico e uma biblioteca municipal, para os quais foram recolhidas faturas de eletricidade para um dado mês. Essas servem como indicador dos preços limites a partir do qual cada coligação perde os seus benefícios.

A escolha dos consumidores baseou-se na sua proximidade e no facto de serem instituições com propósitos semelhantes: ensino, aprendizagem e cultura em geral.

4.2 Consumidores Reais

Nesta secção ilustra-se cada um dos sete consumidores, os preços e volumes de energia dos seus contratos e as características gerais.

A) Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Gualdim Pais

Esta escola tem alunos do 5º ao 9º ano de escolaridade. No presente ano letivo, 2015/16, tem 384 alunos e 70 funcionários, dividindo-se em quatro pavilhões com salas de aula, um ginásio, um refeitório e bar, e uma sala do aluno. Nas figuras 4.1 e 4.2 estão apresentadas imagens da entrada e da vista aérea da escola, respetivamente. Na tabela 4.1, são apresentados os consumos e preços mensais deste consumidor, cedidos gentilmente pelas pessoas que nele trabalham e gerem o seu funcionamento diário.



Figura 4.1: Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Gualdim Pais [31].

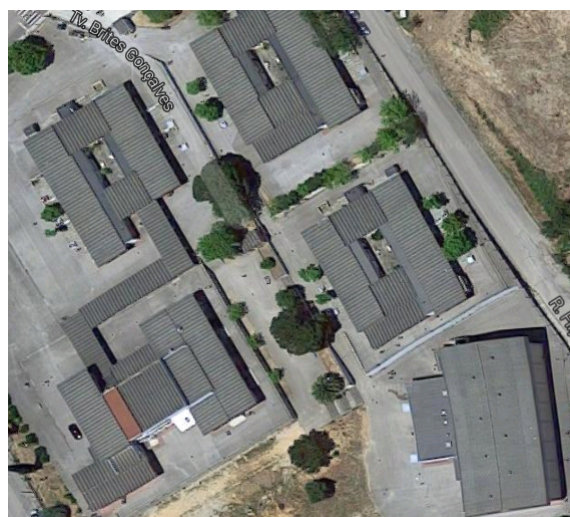


Figura 4.2: Vista aérea da Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Gualdim Pais (fonte: *Google Maps*).

Tabela 4.1: Consumos e preços mensais da Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Gualdim Pais de Tomar.

| Tarifa | Quantidade (MWh) | Preço Unidade (€/MWh) |
|--------------|------------------|-----------------------|
| Ponta: | 2,723 | 65,5 |
| Cheia: | 7,243 | 61,8 |
| Vazio: | 1,536 | 50,4 |
| Super Vazio: | 0,787 | 48,3 |

B) Escola Secundária de Jácome Ratton

A escola secundária Jacome Ratton tem 927 alunos e 174 funcionários (docentes e não docentes), um edifício com R/C, 1º e 2º andar, cada um com salas de aula, dois ginásios, quatro oficinas, dois laboratórios, uma biblioteca, um refeitório, bar, sala do aluno, auditório e espaço museu. Nas figuras 4.3 e 4.4 estão apresentadas imagens da entrada e da vista aérea da escola, respetivamente. Na tabela 4.2, são apresentados os consumos e preços mensais deste consumidor.

Tabela 4.2: Consumos e preços mensais da Escola Secundária de Jácome Ratton de Tomar.

| Tarifa | Quantidade (MWh) | Preço Unidade (€/MWh) |
|--------------|------------------|-----------------------|
| Ponta: | 2,452 | 61,5 |
| Cheia: | 8,153 | 59,1 |
| Vazio: | 3,286 | 49,3 |
| Super Vazio: | 1,786 | 48,8 |



Figura 4.3: Escola Secundária de Jácome Ratton [32].



Figura 4.4: Vista aérea da Escola Secundária de Jácome Ratton (fonte: *Google Maps*).

C) Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Santa Iria

A escola de Santa Iria admite alunos do 5º ao 9º ano de escolaridade. No presente ano letivo, 2015/16, tem 280 alunos e 58 funcionários, sendo constituída por um edifício com R/C e 1º andar, um ginásio, um refeitório, bar e sala do aluno. Nas figuras 4.5 e 4.6 estão apresentadas imagens da entrada e da vista aérea da escola, respetivamente. Na tabela 4.3 são apresentados os consumos e preços mensais deste consumidor.



Figura 4.5: Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Santa Iria [33].

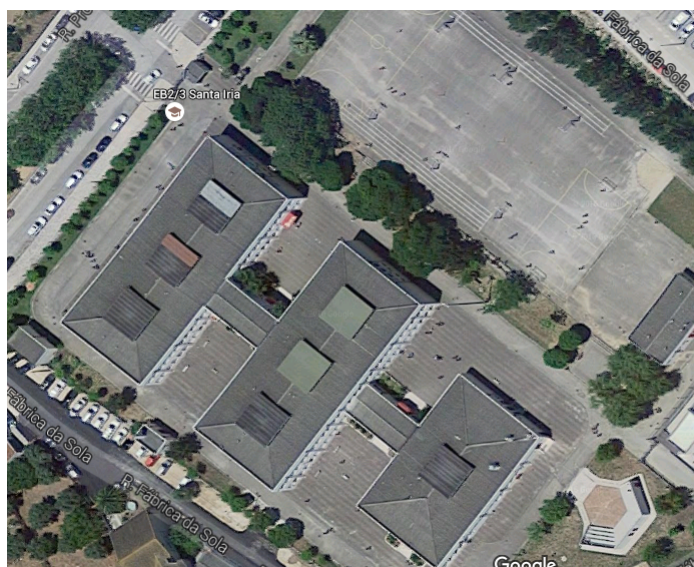


Figura 4.6: Vista aérea da Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Santa Iria (fonte: *Google Maps*).

Tabela 4.3: Consumos e preços mensais da Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Santa Iria de Tomar.

| Tarifa | Quantidade (MWh) | Preço Unidade (€/MWh) |
|--------------|------------------|-----------------------|
| Ponta: | 2,220 | 65,5 |
| Cheia: | 6,408 | 61,8 |
| Vazio: | 1,301 | 50,4 |
| Super Vazio: | 0,802 | 48,3 |

D) Escola Secundária Santa Maria do Olival

A escola de Santa Maria do Olival é uma escola de ensino secundário, do 10º até ao 12º ano, e tem 843 alunos inscritos e 125 funcionários, docentes e não docentes. É caracterizada por seis pavilhões, com 43 salas de aula, 23 no R/C e mais 20 no 1º andar, uma biblioteca, um refeitório, bufete e um ginásio. Nas figuras 4.7 e 4.8 estão apresentadas imagens da

entrada e da vista aérea da escola, respetivamente. Na tabela 4.4 são apresentados os consumos e preços mensais deste consumidor.



Figura 4.7: Escola Secundária Santa Maria do Olival [34].

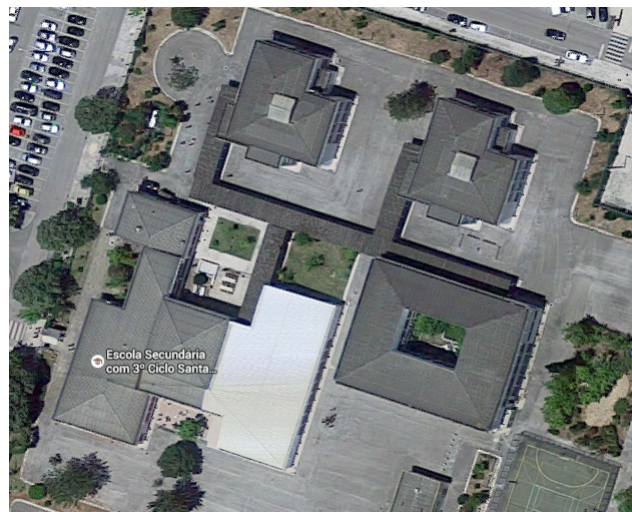


Figura 4.8: Vista aérea da Escola Secundária Santa Maria do Olival (fonte: *Google Maps*).

Tabela 4.4: Consumos e preços mensais da Escola Secundária Santa Maria do Olival de Tomar.

| Tarifa | Quantidade (MWh) | Preço Unidade (€/MWh) |
|--------------|------------------|-----------------------|
| Ponta: | 4,442 | 61,5 |
| Cheia: | 10,014 | 59,1 |
| Vazio: | 1,717 | 49,3 |
| Super Vazio: | 0,996 | 48,8 |

E) Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Nuno Álvares Pereira

Nesta escola estão inscritos 729 alunos e trabalham 120 funcionários, sendo constituída por um edifício com 37 salas de aula, 11 no R/C e 26 no 1º andar, uma biblioteca, um refeitório, um bufete e um ginásio. Admite alunos dos 2º e 3º ciclos. Nas figuras 4.9 e 4.10 estão apresentadas imagens da entrada e da vista aérea da escola, respetivamente. Na tabela 4.5 são apresentados os consumos e preços mensais recolhidos deste consumidor.

Tabela 4.5: Consumos e preços mensais da Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Nuno Álvares Pereira de Tomar.

| Tarifa | Quantidade (MWh) | Preço Unidade (€/MWh) |
|--------------|------------------|-----------------------|
| Ponta: | 2,604 | 65,5 |
| Cheia: | 8,412 | 61,8 |
| Vazio: | 1,370 | 50,4 |
| Super Vazio: | 0,911 | 48,3 |



Figura 4.9: Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Nuno Álvares Pereira [35].

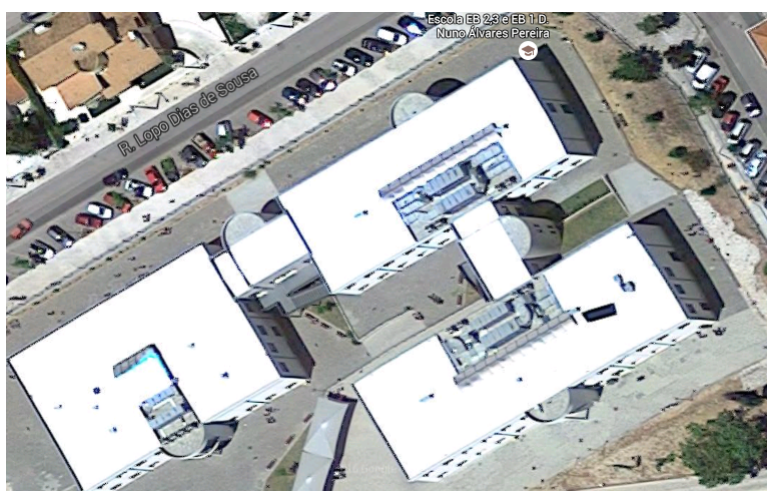


Figura 4.10: Vista aérea da Escola Básica dos 2º e 3º Ciclos Nuno Álvares Pereira (fonte: *Google Maps*).

F) Instituto Politécnico de Tomar

O instituto Politécnico de Tomar tem 2048 alunos e 341 funcionários, contando com duas residências, feminina e masculina, uma biblioteca e área alimentar, além de um edifício correspondente à escola de tecnologia, de gestão, artes e de arqueologia. Nas figuras 4.11 e 4.12 estão apresentadas imagens da entrada e da vista aérea do instituto politécnico, respetivamente. Na tabela 4.6 são apresentados os consumos e preços mensais deste consumidor.



Figura 4.11: Instituto Politécnico de Tomar [36].



Figura 4.12: Vista aérea do Instituto Politécnico de Tomar (fonte: Google Maps).

Tabela 4.6: Consumos e preços mensais do Instituto Politécnico de Tomar.

| Tarifa | Quantidade (MWh) | Preço Unidade (€/MWh) |
|--------------|------------------|-----------------------|
| Ponta: | 22,306 | 65,0 |
| Cheia: | 50,338 | 63,1 |
| Vazio: | 19,398 | 52,7 |
| Super Vazio: | 10,832 | 52,2 |

G) Biblioteca Municipal de Tomar

A Biblioteca Municipal de Tomar tem 3 pisos, onde existe um átrio, auditório, sala de conto, área de leitura infantil e geral, área de audiovisual e de acesso ao espaço *internet*. Regista 450 utilizadores em média, por dia, para 12 funcionários presentes. Nas figuras

4.13 e 4.14 estão apresentadas imagens da entrada e da vista aérea da biblioteca, respetivamente. Na tabela 4.7 são apresentados os consumos e preços mensais deste consumidor.



Figura 4.13: Biblioteca Municipal de Tomar [37].

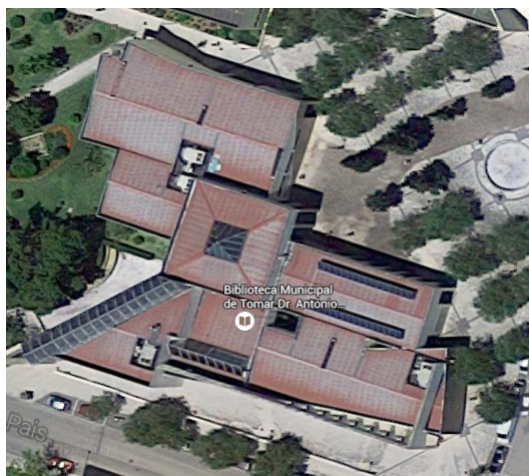


Figura 4.14: Vista aérea da Biblioteca Municipal de Tomar (fonte: *Google Maps*).

Tabela 4.7: Consumos e preços mensais da Biblioteca Municipal de Tomar.

| Tarifa | Quantidade (MWh) | Preço Unidade (€/MWh) |
|--------------|------------------|-----------------------|
| Ponta: | 0,760 | 78,9 |
| Cheia: | 2,802 | 78,3 |
| Vazio: | 0,307 | 69,4 |
| Super Vazio: | 0,138 | 64,5 |

4.3 Alianças de Consumidores Reais

Com os dados acima, e com o objetivo de simular-se diferentes tipos de coligações, definem-se três possíveis alianças, que a seguir se descrevem.

4.3.1 Caso 1: Cinco Escolas Públicas

A primeira aliança inclui as 5 escolas referidas na secção 4.2, que se designam do seguinte modo:

- Gualdim Pais (EGP);
- Santa Iria (ESI);
- Santa Maria (ESM);
- Nuno Álvares Pereira (ENAP);
- Jácome Ratton (EJR).

Estas escolas têm volumes e preços por tarifa semelhantes, como pode ser observado na secção 4.2.

Os gráficos 4.15 e 4.16 ilustram os preços e volumes do contrato real de cada consumidor para a primeira aliança considerada. Nesta aliança, o volume que será negociado resulta da soma dos volumes das cinco escolas e o preço será definido após cada um dos coligados apresentar uma proposta inicial ao agente representante da coligação. Os valores do volume total, para este caso, são apresentados na tabela 4.8.

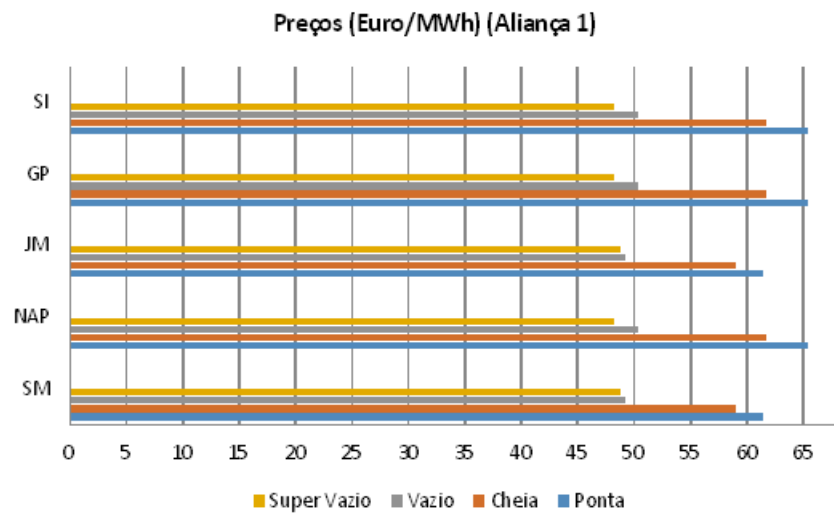


Figura 4.15: Gráfico com os preços por tarifa de cada consumidor do Caso 1.

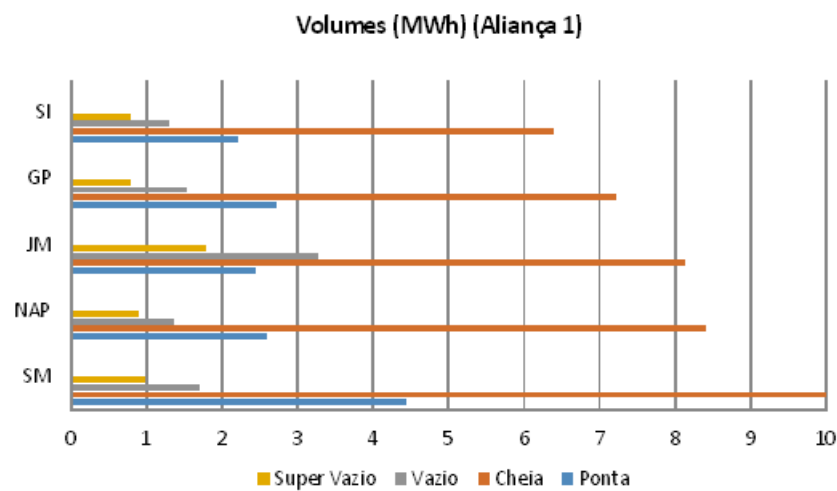


Figura 4.16: Gráfico com os volumes por tarifa de cada consumidor do Caso 1.

Tabela 4.8: Consumos totais do Caso 1.

| Tarifa | Quantidade Total (MWh) |
|--------------|------------------------|
| Ponta: | 14,442 |
| Cheia: | 40,231 |
| Vazio: | 9,211 |
| Super Vazio: | 5,284 |

Com base nos preços de cada fatura, por tarifa, subtraiu-se uma percentagem pequena de 5%. Ou seja, os valores iniciais que cada escola pretende lançar para iniciar a negociação são 5% abaixo dos valores originais do contrato, como representado na tabela 4.9.

Tabela 4.9: Preços iniciais por tarifa de cada consumidor do Caso 1.

| Tarifa | EGP (€/MWh) | ESI (€/MWh) | ESM (€/MWh) | ENAP (€/MWh) | EJR (€/MWh) |
|--------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Ponta: | 62,2 | 62,2 | 58,4 | 62,2 | 58,4 |
| Cheia: | 58,7 | 58,7 | 56,1 | 58,7 | 56,1 |
| Vazio: | 45,8 | 45,8 | 46,8 | 45,8 | 46,8 |
| Super Vazio: | 47,8 | 47,8 | 46,3 | 47,8 | 46,3 |

Para a definição dos preços limite, procedeu-se de modo semelhante, mas em vez de se subtrair, somou-se 2% a ESI, EGP e ENAP, e 7% às ESM e EJR. Esta diferença foi para aproximar todos os coligados a um preço limite próximo, como pode ser observado na tabela 4.10.

Tabela 4.10: Preços limite por tarifa de cada consumidor do Caso 1.

| Tarifa | EGP (€/MWh) | ESI (€/MWh) | ESM (€/MWh) | ENAP (€/MWh) | EJR (€/MWh) |
|--------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Ponta: | 66,8 | 66,8 | 65,8 | 66,8 | 65,8 |
| Cheia: | 63,0 | 63,0 | 63,2 | 63,0 | 63,2 |
| Vazio: | 49,2 | 49,2 | 52,7 | 49,2 | 52,7 |
| Super Vazio: | 51,4 | 51,4 | 52,2 | 51,4 | 52,2 |

4.3.2 Caso 2: Cinco Escolas e o Instituto Politécnico

Esta aliança inclui as 5 escolas (EGP, ESI, ESM, ENAP e EJR) mais o Instituto Politécnico de Tomar (IPT). Neste caso, o politécnico assume uma posição extrema em relação às escolas, com volumes muito altos, embora preços de energia relativamente equilibrados.

Os gráficos 4.16 e 4.17 ilustram os preços e volumes do contrato real de cada consumidor. Tal como no caso anterior, os volumes da coligação resultam da soma dos volumes de energia de todos os consumidores, resultando nos volumes totais apresentados na tabela 4.11.

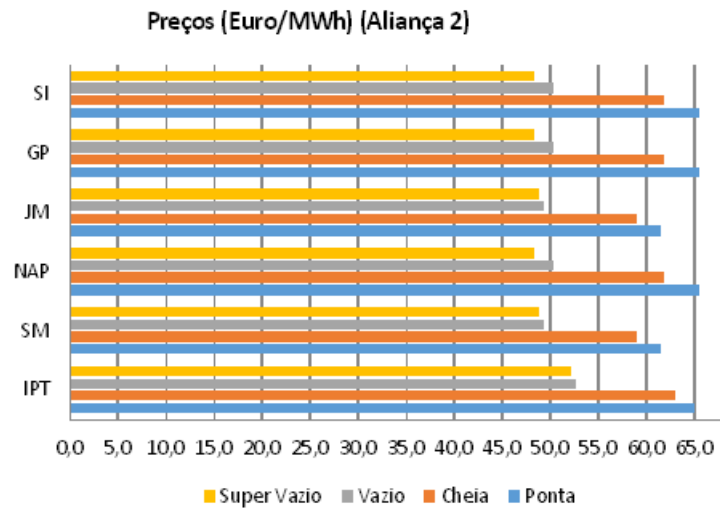


Figura 4.17: Gráfico com os preços por tarifa de cada consumidor do Caso 2.

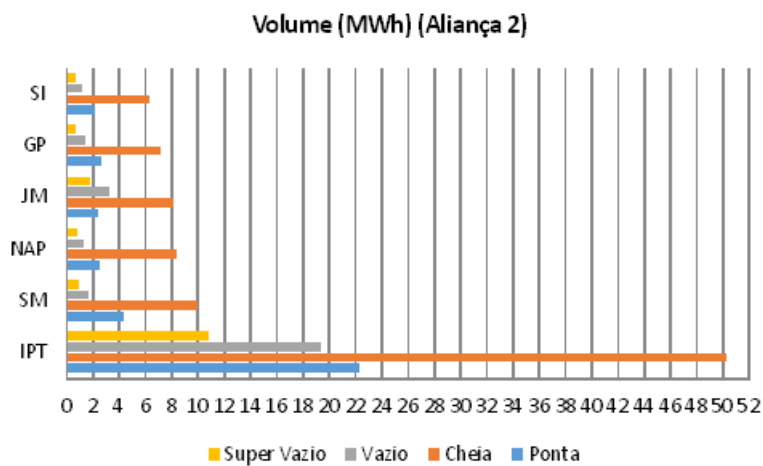


Figura 4.18: Gráfico com os volumes por tarifa de cada consumidor do Caso 2.

Tabela 4.11: Consumos totais do Caso 2.

| Tarifa | Quantidade Total (MWh) |
|--------------|------------------------|
| Ponta: | 36,748 |
| Cheia: | 90,569 |
| Vazio: | 28,609 |
| Super Vazio: | 16,116 |

Como no caso anterior, somou-se 5% aos valores em contrato, considerando desta vez seis coligados, devido à junção do Politécnico (ver tabela 4.12).

O processo para a definição de cada preço limite por tarifa é igual ao do caso anterior,

Tabela 4.12: Preços iniciais por tarifa de cada consumidor do Caso 2.

| Tarifa | EGP (€/MWh) | ESI (€/MWh) | ESM (€/MWh) | ENAP (€/MWh) | EJR (€/MWh) | IPT (€/MWh) |
|--------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| Ponta: | 62,2 | 62,2 | 58,4 | 62,2 | 58,4 | 61,7 |
| Cheia: | 58,7 | 58,7 | 56,1 | 58,7 | 56,1 | 59,9 |
| Vazio: | 45,8 | 45,8 | 46,8 | 45,8 | 46,8 | 50,1 |
| Super Vazio: | 47,8 | 47,8 | 46,3 | 47,8 | 46,3 | 49,5 |

ou seja, 7% para ESM e EJ R e 2% para os restantes coligados (ver tabela 4.13).

Tabela 4.13: Preços limite por tarifa de cada consumidor do Caso 2.

| Tarifa | EGP (€/MWh) | ESI (€/MWh) | ESM (€/MWh) | ENAP (€/MWh) | EJR (€/MWh) | IPT (€/MWh) |
|--------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| Ponta: | 66,8 | 66,8 | 65,8 | 66,8 | 65,8 | 66,3 |
| Cheia: | 63,0 | 63,0 | 63,2 | 63,0 | 63,2 | 64,3 |
| Vazio: | 49,2 | 49,2 | 52,7 | 49,2 | 52,7 | 53,7 |
| Super Vazio: | 51,4 | 51,4 | 52,2 | 51,4 | 52,2 | 53,2 |

Em comparação com o Caso 1, nota-se uma diferença (enorme) nos volumes, embora os preços sofram pouca alteração com a adição do IPT.

4.3.3 Caso 3: Cinco Escolas e a Biblioteca Municipal de Tomar

O caso 3 inclui as 5 escolas (EGP, ESI, ESM, ENAP e EJ R) mais a Biblioteca Municipal de Tomar (BM), que consiste num consumidor que assume uma posição extrema em relação às escolas, com preços por tarifa (muito) mais altos, embora volumes de energia (muito) mais baixos que cada escola.

Os gráficos 4.19 e 4.20 ilustram os preços e volumes do contrato real de cada consumidor. Os volumes resultam da soma das cinco escolas mais a biblioteca, resultando nos valores apresentados na tabela 4.14.

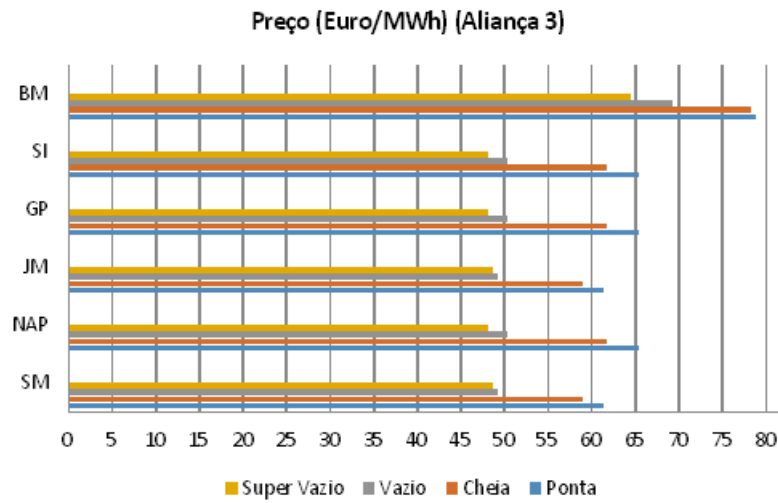


Figura 4.19: Gráfico com os preços por tarifa de cada consumidor do Caso 3.

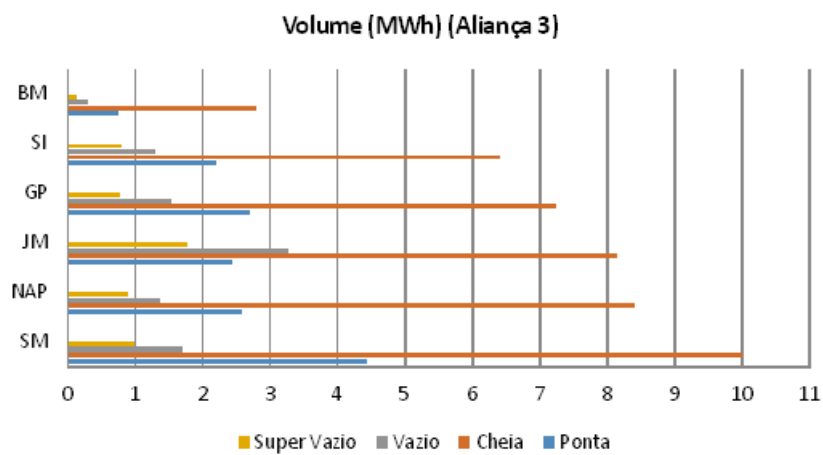


Figura 4.20: Gráfico com os volumes por tarifa de cada consumidor do Caso 3.

Tabela 4.14: Consumos totais do Caso 3.

| Tarifa | Quantidade Total (MWh) |
|--------------|------------------------|
| Ponta: | 15,202 |
| Cheia: | 43,033 |
| Vazio: | 9,518 |
| Super Vazio: | 5,422 |

No caso 3, para cálculo dos preços iniciais a apresentar na negociação, as percentagens subtraídas a cada preço, por tarifa, permanecem em 5% por cada consumidor, como pode ser observado na tabela 4.15.

Tabela 4.15: Preços iniciais por tarifa de cada consumidor do Caso 3.

| Tarifa | EGP (€/MWh) | ESI (€/MWh) | ESM (€/MWh) | ENAP (€/MWh) | EJR (€/MWh) | BM (€/MWh) |
|--------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Ponta: | 62,2 | 62,2 | 58,4 | 62,2 | 58,4 | 74,9 |
| Cheia: | 58,7 | 58,7 | 56,1 | 58,7 | 56,1 | 74,3 |
| Vazio: | 45,8 | 45,8 | 46,8 | 45,8 | 46,8 | 65,9 |
| Super Vazio: | 47,8 | 47,8 | 46,3 | 47,8 | 46,3 | 61,2 |

Para os preços limite, neste caso 3, acrescentou-se aos preços de contrato 7%, no caso das escolas EJР e ESM, e 2% nos restantes. Os preços limite da biblioteca são muito diferentes dos preços limite dos outros consumidores. Assim, qualquer preço limite deste agente é completamente desproporcional em relação aos restantes. Os preços limite, para este caso, estão apresentados na tabela 4.16.

Tabela 4.16: Preços limite por tarifa de cada consumidor do Caso 3.

| Tarifa | EGP (€/MWh) | ESI (€/MWh) | ESM (€/MWh) | ENAP (€/MWh) | EJR (€/MWh) | BM (€/MWh) |
|--------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Ponta: | 66,8 | 66,8 | 65,8 | 66,8 | 65,8 | 80,4 |
| Cheia: | 63,0 | 63,0 | 63,2 | 63,0 | 63,2 | 79,8 |
| Vazio: | 49,2 | 49,2 | 52,7 | 49,2 | 52,7 | 70,7 |
| Super Vazio: | 51,4 | 51,4 | 52,2 | 51,4 | 52,2 | 65,7 |

Em comparação com o Caso 1, a biblioteca faz pouca diferença nos volumes, já que são quase insignificantes quando comparados com os volumes dos restantes coligados. Quanto aos preços a biblioteca tem preços elevados e desproporcionais quando comparados com os preços dos outros consumidores.

4.4 Retalhista

O retalhista inicia a negociação enviando para o agente representante da aliança uma proposta inicial. O retalhista vai assumir quatro preços iniciais, relacionando os preços médios mais favoráveis em determinados meses do mercado *spot*. Após serem verificados todos os meses de 2014, 2015 e os primeiros 5 meses de 2016, selecionou-se um trimestre em que os preços *spot* mais se aproximam da faturação real dos consumidores, de modo a que a diferença entre os preços iniciais de cada consumidor e os preços iniciais (tabela 4.17) do retalhista não sejam muito dispare (os melhores preços do mercado *spot* ficavam sempre abaixo dos preços em fatura dos consumidores). A média que melhor reflete os

preços atuais de cada consumidor foi a dos meses de Junho, Julho e Agosto de 2015 (ver figuras A.1, A.2 e A.3 do Anexo).

Tabela 4.17: Preços iniciais do agente Retalhista.

| Tarifa | Preço Unidade (€/MWh) |
|--------------|-----------------------|
| Ponta: | 64,6 |
| Cheia: | 63,9 |
| Vazio: | 59,1 |
| Super Vazio: | 51,9 |

Os valores originais do mercado *spot* para o trimestre selecionado, mesmo após uma escolha cuidadosa, ficavam abaixo dos valores das faturas dos consumidores. Assim foram aumentados de modo a se aproximarem dos preços em fatura e tornarem a simulação mais realista (senão o retalhista teria preços iniciais mais baixos que os coligados). Isto deve-se ao facto dos consumidores terem contratos desfasados dos valores negociados no mercado *spot*, e possivelmente quando negociaram o último contrato não terem tido como referência os valores deste mercado.

Como valores limite para o retalhista (tabela 4.18), consideram-se os valores médios de mercado *spot*, que já sendo desajustados em relação aos contratos existentes para cada consumidor, necessitam de poucas diferenças em relação ao valor original.

Tabela 4.18: Preços limites do agente Retalhista.

| Tarifa | Preço Unidade (€/MWh) |
|--------------|-----------------------|
| Ponta: | 56,3 |
| Cheia: | 55,6 |
| Vazio: | 45,4 |
| Super Vazio: | 45,2 |

Para calcular as médias que conduziram à fixação de um preço inicial e um preço limite para este agente, seguiu-se o ciclo diário dos tarifários de energia elétrica, que distingue o período de Verão e de Inverno, como indicado na tabela 4.19.

Tabela 4.19: Ciclo diário dos tarifários de energia em Portugal Continental [26].

| Período de hora legal de Inverno | Período de hora legal de Verão |
|----------------------------------|--------------------------------|
| Ponta: 09h00-10h30 | Ponta: 10h30-13h00 |
| 18h00-20h30 | 19h30-21h00 |
| Cheias: 08h00-09h00 | Cheias: 08h00-10h30 |
| 10h30-18h00 | 13h00-19h30 |
| 20h30-22h00 | 21h00-22h00 |
| Vazio: 06h00-08h00 | Vazio: 06h00-08h00 |
| 22h00-02h00 | 22h00-02h00 |
| Super Vazio: 02h00-06h00 | Super Vazio: 02h00-06h00 |

Por fim, de referir que poder-se-ia ter usado os valores dos contratos reais dos consumidores para formar preços iniciais e preços limite, assumindo que se teria nesse caso acesso aos valores do último contrato de cada coligado. No entanto, preferiu-se então tomar como base os valores de mercado *spot*, para o agente retalhista, para uma negociação mais global e não restringida a uma simples renegociação de contrato.

4.5 Simulador MAN-REM

O simulador utilizado neste trabalho foi desenvolvido no LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia) no âmbito parte do projeto denominado MAN-REM (<http://www.lneg.pt/iedt/projectos/473/>). Nesta secção são apresentadas algumas das janelas existentes na simulador.

A janela principal (figura 4.21) contém todas as opções essenciais para a simulação, como a criação, o carregamento ou a remoção de agentes, a seleção dos tipos de mercado a simular e a iniciação de uma negociação. Nas opções do lado superior esquerdo são permitidas a criação de agentes ou o carregamento de agentes previamente programados.

A figura 4.22 apresenta a janela onde os agentes consumidores da coligação são escolhidos. No caso específico desta dissertação, esses agentes foram introduzidos no simulador conforme os seus preços iniciais e limite, além dos volumes que necessitam.

Para o carregamento do retalhista (figura 4.23) procede-se à escolha do agente pelo nome.

Após carregar a os membros da coligação, procede-se à escolha da regra de decisão, como exemplificado na figura 4.24.

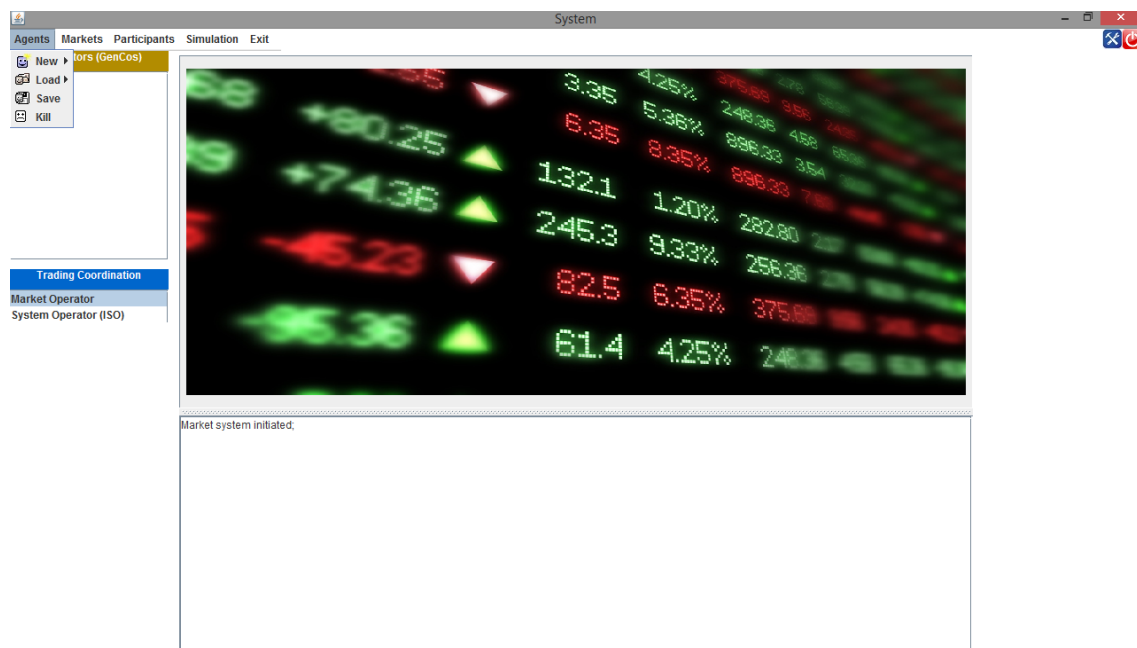


Figura 4.21: Janela principal do simulador.

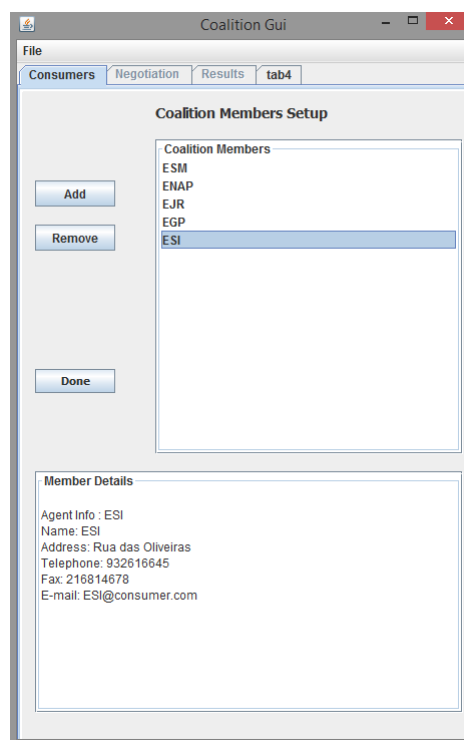


Figura 4.22: Janela do simulador para a seleção dos membros da coligação.

Na figura 4.25 pode ser vista a interface correspondente aos parâmetros e condições do contrato bilateral, nomeadamente, a duração, em meses, e os seus termos (contrato *forward*).

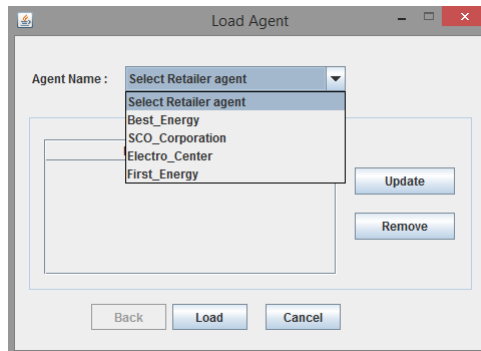


Figura 4.23: Janela do simulador com o agente retalhista.

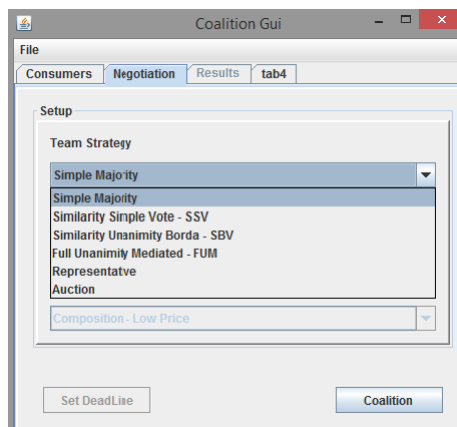


Figura 4.24: Janela do simulador com as várias estratégias de decisão.

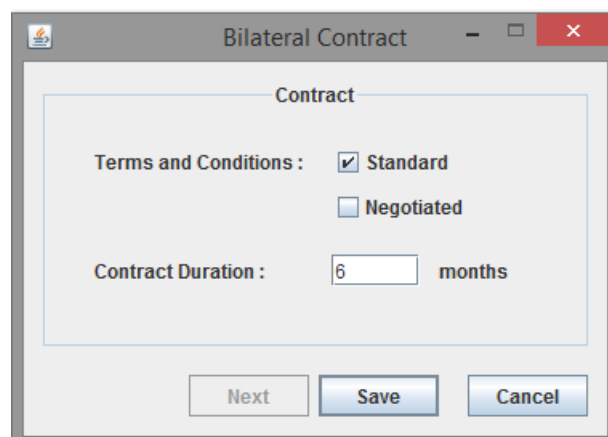


Figura 4.25: Interface do contrato bilateral.

Para iniciar a negociação o retalhista define os preços limite e a estratégia negocial (figuras 4.26 e 4.27).

Enter your Ultimate Fallback Position or Limits

| | Price (€/MWh) |
|-----------|---------------|
| Period 1: | 56.31 |
| Period 2: | 55.65 |
| Period 3: | 45.41 |
| Period 4: | 45.21 |

Back OK Continue

Figura 4.26: Janela com os preços limite já pré-definidos.

Indicate Your Initial Negotiation Strategy

Bargaining Strategy: Strategy

- Concession Making ▶ Compromise
- Problem Solving ▶ Volume Conceder
- Contending ▶ Time Conceder
- Risk Strategy ▶ Matching ▶

Risk Management Strategy:

Back OK

Figura 4.27: Janela de seleção da estratégia.

Por fim, o retalhista envia os preços iniciais ao agente representante da coligação, como apresentado na figura 4.28.

| | Price (€/MWh) |
|-----------|---------------|
| Period 1: | 64.65 |
| Period 2: | 63.94 |
| Period 3: | 59.08 |
| Period 4: | 51.95 |

Figura 4.28: Preços iniciais do retalhista.

Na janela da figura 4.29, o consumidor (ENAP) já está em negociação, podendo ser vista a proposta recebida do retalhista e uma das propostas trocadas com os restantes coligados.

Myagent: ENAP@192.168.1.34:1099/JADE
Opponent: Coalition@192.168.1.34:1099/JADE

Awaiting seller price information

Prices received from Coalition...

Strategy: Compromise

***** STARTING NEGOTIATION *****

Received Proposal to buy at:

| | |
|----------------------|---------------------|
| Price 1 = 64,69€/MWh | Energy1 = 2610,0kWh |
| Price 2 = 63,94€/MWh | Energy2 = 8410,0kWh |
| Price 3 = 59,08€/MWh | Energy3 = 1370,0kWh |
| Price 4 = 51,95€/MWh | Energy4 = 910,0kWh |

Contract Duration: 365 days
Total Cost Computed= 0,000 k€
Total Cost Received= 0,000 k€

Sent Proposal to Sell at null

| | |
|----------------------|---------------------|
| Price 1 = 63,54€/MWh | Energy1 = 2610,0kWh |
| Price 2 = 59,95€/MWh | Energy2 = 8410,0kWh |
| Price 3 = 46,85€/MWh | Energy3 = 1370,0kWh |
| Price 4 = 48,89€/MWh | Energy4 = 910,0kWh |

Contract Duration = 365 days
Total Cost computed = 284,223 k€

Figura 4.29: Janela com a troca de propostas do consumidor ENAP.

Com estas janelas, ilustra-se sumariamente os procedimentos que devem ser seguidos para simular uma negociação. Claro que após o mostrado na figura 4.29, os agentes consumidores que fazem parte da coligação vão decidir entre si qual a proposta mais útil a enviar para o retalhista, seguindo uma das regras de decisão descritas na figura 4.24.

Por fim, escolhida a proposta da coligação, esta é enviada para o agente retalhista que, por sua vez responderá com uma contra-proposta, ou aceitando a proposta. Caso faça uma contra-proposta a negociação continua e será a vez dos consumidores decidirem o

que fazer. No entanto, se este agente aceitar os valores da proposta, estes passarão a ser os novos preços de contrato para cada um dos agentes consumidores.

ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo descrevem-se as simulações inerentes a cada um dos casos de estudo do capítulo 4, registam-se os resultados das simulações e, por fim, analisam-se os resultados obtidos.

5.1 Introdução

Foram realizadas três simulações para cada caso, usando as estratégias de decisão *Simple Majority* (SM), *Similarity Simple Voting* (SSV) e *Similarity-Based Unanimity Borda Voting* (SUBV). Para o caso 1 (EGP, ESI, ESM, ENAP e EJ R), foram apresentados na tabela 5.1, por regra de decisão.

De novo, os nomes dos consumidores aparecem em siglas, ou seja, Escola Gualdim Pais (EGP), Escola Santa Iria (ESI), Escola Santa Maria (ESM), Escola Nuno Álvares Pereira (ENAP), Escola Jacome Ratton (EJR), Instituto Politécnico de Tomar (IPT), e Biblioteca Municipal (BM).

Tabela 5.1: Preços simulados para o Caso 1.

| Tarifa | SM (€/MWh) | SSV (€/MWh) | SUBV (€/MWh) |
|--------------|---------------|----------------|-----------------|
| Ponta: | 64,0 | 65,75 | 60,69 |
| Cheia: | 58,6 | 59,14 | 56,4 |
| Vazio: | 48,14 | 49,14 | 51,27 |
| Super Vazio: | 50,96 | 51,4 | 51,59 |

Para o caso 2 (EGP, ESI, ESM, ENAP, EJR e IPT), onde se associou um grande consumidor (IPT), obtiveram-se os resultados apresentados na tabela 5.2.

Tabela 5.2: Preços simulados para o Caso 2.

| Tarifa | SM (€/MWh) | SSV (€/MWh) | SUBV (€/MWh) |
|--------------|---------------|----------------|-----------------|
| Ponta: | 60,69 | 63,76 | 60,69 |
| Cheia: | 56,4 | 56,99 | 56,4 |
| Vazio: | 51,27 | 52,7 | 51,27 |
| Super Vazio: | 51,59 | 52,22 | 51,59 |

Por fim, para o caso 3 (EGP, ESI, ESM, ENAP, EJR e BM), onde se associou um pequeno consumidor (BM), obtiveram-se os resultados indicados na tabela 5.3.

Tabela 5.3: Preços simulados para o Caso 3.

| Tarifa | SM (€/MWh) | SSV (€/MWh) | SUBV (€/MWh) |
|--------------|---------------|----------------|-----------------|
| Ponta: | 62,76 | 65,98 | 60,69 |
| Cheia: | 60,09 | 59,2 | 56,4 |
| Vazio: | 51,07 | 49,2 | 51,27 |
| Super Vazio: | 51,42 | 51,41 | 51,59 |

Na negociação bilateral, a coligação usou, em qualquer uma das 9 negociações, uma estratégia de concessões com base no volume de energia elétrica. Logo, quanto maior o volume em negociação, maior a abertura do agente retalhista a concessões ao nível dos preços de cada tarifa. Usando os três exemplos desta dissertação, o caso 2 é o da coligação que obtém melhores resultados finais, porque tem um consumidor com volumes muito altos de energia elétrica.

Para uma melhor compreensão dos benefícios de cada tarifa nas simulações, em relação aos contratos reais de cada consumidor, convém perceber a percentagem, ou importância, de cada tarifa em relação ao volume total de cada consumidor, como é apresentado na tabela 5.4.

Analisando esta tabela 5.4, pode concluir-se que o período de cheia (08h-09h, 10h30-18h e 20h30-22h no Inverno e 08h-10h30, 13h-19h30 e 21h-22h no Verão) é de longe o mais utilizado, superando os 50% em qualquer um dos consumidores, exceto o IPT, em que fica muito próximo dos 49%, logo, pode concluir-se que qualquer benefício que seja

Tabela 5.4: Percentagem de cada volume por tarifa em relação ao volume total de contrato, por Consumidor.

| Tarifa | EGP (%) | ESI (%) | ESM (%) | ENAP (%) | EJR (%) | IPT (%) | BM (%) |
|--------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-----------|
| Ponta: | 22,16 | 20,69 | 25,87 | 19,58 | 15,64 | 21,68 | 18,97 |
| Cheia: | 58,94 | 59,71 | 58,33 | 63,26 | 52,01 | 48,93 | 69,93 |
| Vazio: | 12,50 | 12,12 | 10,00 | 10,30 | 20,96 | 18,86 | 7,66 |
| Super Vazio: | 6,40 | 7,47 | 5,80 | 6,85 | 11,39 | 10,53 | 3,44 |

conseguido nesse período poderá ser o suficiente para o contrato final registar melhorias significativas, mesmo que as outras três tarifas sofram perdas.

5.2 Análise de Resultados

5.2.1 Consumidores de Cada Caso por Estratégia de Decisão

5.2.1.1 Caso 1: Cinco Escolas Públicas

Depois de obtidos os resultados nas simulações, é importante proceder à sua análise para determinar a existência ou não de benefícios e avaliar qual a melhor estratégia de decisão a adotar numa coligação.

Primeiro, será analisada cada coligação e os respetivos benefícios ou perdas, relacionando os contratos reais de cada consumidor com os valores simulados, registando as alterações em percentagem (tabela 5.5).

Convém referir que, para simplificar, os consumidores foram agrupados em dois tipos, por terem contratos iguais ao nível dos preços, tendo-se:

Consumidores do tipo 1 - ESM e EJER;

Consumidores do tipo 2 - EGP, ESI e ENAP.

Para o cálculo das percentagens, procedeu-se da seguinte forma: tomando o valor simulado como ótimo, ou seja 100%, comparou-se, em percentagem, com qualquer um dos tipos de consumidor e registou-se a diferença entre ambos (tabela 5.6).

Para a regra *Simple Majority* verifica-se que as escolas do Tipo 2 têm as melhores condições para um novo contrato. Isto deve-se, essencialmente, ao facto de serem apenas necessário 3 votos positivos para fechar as negociações, logo que é recebida uma proposta melhor que o respetivo contrato atual.

Tabela 5.5: Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra *Simple Majority*.

| Tarifa | Tipo 1 (€/MWh) | Tipo 2 (€/MWh) | Simulado (€/MWh) |
|--------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Ponta: | 61,5 | 65,5 | 64,0 |
| Cheia: | 59,1 | 61,8 | 58,86 |
| Vazio: | 49,3 | 48,3 | 48,14 |
| Super Vazio: | 48,8 | 50,4 | 50,96 |

Tabela 5.6: Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra *Simple Majority*.

| Tarifa | Tipo 1 (%) | Tipo 2 (%) |
|--------------|------------|------------|
| Ponta: | -3,91 | 2,34 |
| Cheia: | 0,41 | 4,99 |
| Vazio: | 2,41 | 0,33 |
| Super Vazio: | -4,24 | -1,10 |

Os membros do Tipo 1 têm um melhor contrato, antes das novas negociações, especialmente nos períodos de ponta e cheia, onde interessa mais, mas como são apenas duas escolas, serão sempre minoria em relação aos 3 votos necessários para a proposta ser aceite, para ser atingida uma maioria absoluta.

Os resultados da negociação adotando a estratégia de *Similarity Simple Voting* estão indicados na tabela 5.7, enquanto as variações entre os valores simulados e os tipos de consumidores estão registados na tabela 5.8.

Tabela 5.7: Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra *Similarity Simple Voting*.

| Tarifa | Tipo 1 (€/MWh) | Tipo 2 (€/MWh) | Simulado (€/MWh) |
|--------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Ponta: | 61,5 | 65,5 | 65,75 |
| Cheia: | 59,1 | 61,8 | 59,14 |
| Vazio: | 49,3 | 48,3 | 49,14 |
| Super Vazio: | 48,8 | 50,4 | 51,4 |

Os ganhos com esta estratégia são, novamente, melhores para os consumidores do Tipo 2. Tal como a estratégia anterior, esta estratégia também se rege por uma regra de maioria, apesar de considerar uma maioria simples ou relativa.

Tabela 5.8: Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra *Similarity Simple Voting*.

| Tarifa | Tipo 1 (%) | Tipo 2 (%) |
|--------------|------------|------------|
| Ponta: | -6,46 | -0,38 |
| Cheia: | -0,07 | 4,50 |
| Vazio: | 0,33 | -1,71 |
| Super Vazio: | -5,06 | -1,95 |

Por último, para o caso 1 considera-se a estratégia *Similarity-Based Unanimity Borda Voting*, seguindo o mesmo procedimento das estratégias anteriores, como apresentado nas tabelas 5.9 e 5.10.

Tabela 5.9: Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra *Similarity-Based Unanimity Borda Voting*.

| Tarifa | Tipo 1 (€/MWh) | Tipo 2 (€/MWh) | Simulado (€/MWh) |
|--------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Ponta: | 61,5 | 65,5 | 60,69 |
| Cheia: | 59,1 | 61,8 | 56,4 |
| Vazio: | 49,3 | 48,3 | 51,27 |
| Super Vazio: | 48,8 | 50,4 | 51,59 |

Tabela 5.10: Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra *Similarity-Based Unanimity Borda Voting*.

| Tarifa | Tipo 1 (%) | Tipo 2 (%) |
|--------------|------------|------------|
| Ponta: | 1,33 | 7,93 |
| Cheia: | 4,79 | 9,57 |
| Vazio: | -3,84 | -5,79 |
| Super Vazio: | -5,41 | -2,31 |

Analisando as tabelas 5.9 e 5.10, verifica-se que os ganhos, usando esta estratégia, que considera a regra de unanimidade, serve ambos os tipos de consumidores, apesar de perdas nos períodos de vazio e super vazio, os ganhos na ponta e cheia garantem uma melhoria significativa num futuro contrato. De realçar, que a proposta que vai ser aceite tem que resultar de uma classificação unânime dos consumidores.

No caso 1, pode perceber-se que só uma maioria por unanimidade resulta num contrato positivo para as escolas que já têm o melhor contrato (Tipo 1).

5.2.1.2 Caso 2: Cinco Escolas Públicas e o Instituto Politécnico

Para este caso, para além dos consumidores do caso 1 adiciona-se o IPT, que tem preços semelhantes, mas volumes de energia elétrica muito mais elevados.

Nestes exemplos seguiu-se o mesmo procedimento do caso anterior, mas com a adição de um consumidor do tipo 3, que é representado pelo IPT. Assim, primeiro testa-se a regra *Simple Majority*, sendo os resultados apresentados nas tabelas 5.11 e 5.12. Na tabela 5.11 regista-se os valores de cada tipo de consumidor e os valores simulados, enquanto na tabela 5.12 se compara, em percentagem, cada tipo com o simulado.

Tabela 5.11: Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra *Simple Majority*.

| Tarifa | Tipo 1 (€/MWh) | Tipo 2 (€/MWh) | Tipo 3 (€/MWh) | Simulado (€/MWh) |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Ponta: | 61,5 | 65,5 | 65,0 | 60,69 |
| Cheia: | 59,1 | 61,8 | 63,1 | 56,4 |
| Vazio: | 49,3 | 48,3 | 52,7 | 51,27 |
| Super Vazio: | 48,8 | 50,4 | 52,2 | 51,59 |

Tabela 5.12: Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra *Simple Majority*.

| Tarifa | Tipo 1 (%) | Tipo 2 (%) | Tipo 3 (%) |
|--------------|------------|------------|------------|
| Ponta: | 1,33 | 7,93 | 7,10 |
| Cheia: | 4,79 | 9,57 | 11,88 |
| Vazio: | -3,84 | -5,79 | 2,79 |
| Super Vazio: | -5,41 | -2,31 | 1,18 |

Analisando as tabelas 5.11 e 5.12, verifica-se que esta estratégia apresenta ganhos para todos os consumidores, e apesar de bastarem 4 votos para uma proposta ser aceite, neste caso o retalhista fará maiores concessões, devido ao volume elevado a ser negociado, o que resulta em que os três tipos tenham ganhos significativos, já que os consumidores usam uma estratégia de negociação relacionada com os volumes em negociação.

Para as tabelas 5.13 e 5.14, analisou-se a regra *Similarity Simple Voting* do caso 2.

Tabela 5.13: Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra *Similarity Simple Voting*.

| Tarifa | Tipo 1 (€/MWh) | Tipo 2 (€/MWh) | Tipo 3 (€/MWh) | Simulado (€/MWh) |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Ponta: | 61,5 | 65,5 | 65,0 | 63,76 |
| Cheia: | 59,1 | 61,8 | 63,1 | 56,99 |
| Vazio: | 49,3 | 48,3 | 52,7 | 52,7 |
| Super Vazio: | 48,8 | 50,4 | 52,2 | 52,22 |

Tabela 5.14: Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra *Similarity Simple Voting*.

| Tarifa | Tipo 1 (%) | Tipo 2 (%) | Tipo 3 (%) |
|--------------|------------|------------|------------|
| Ponta: | -3,54 | 2,73 | 1,94 |
| Cheia: | 3,70 | 8,44 | 10,72 |
| Vazio: | -6,45 | -8,35 | 0,00 |
| Super Vazio: | -6,55 | -3,49 | -0,04 |

A partir dos valores analisados nas tabelas 5.13 e 5.14, verificam-se melhorias significativas no IPT e nas escolas do tipo 2, e melhorias menores nas escolas do Tipo 1, embora sejam no período mais significativo. Neste caso, basta uma maioria simples, e apesar da abertura a concessões, a proposta tenderá a ser aceite ao fim de menos iterações na negociação, o que pode não significar as melhorias esperadas para os consumidores do tipo 1.

Por fim, considera-se a regra *Similarity-Based Unanimity Borda Voting*, com os valores simulados e de tipo de consumidor (ver tabela 5.15) e as comparações, em percentagem, entre os tipos e o valor simulado apresentado na tabela 5.16.

Tabela 5.15: Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra *Similarity-Based Unanimity Borda Voting*.

| Tarifa | Tipo 1 (€/MWh) | Tipo 2 (€/MWh) | Tipo 3 (€/MWh) | Simulado (€/MWh) |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Ponta: | 61,5 | 65,5 | 65,0 | 60,69 |
| Cheia: | 59,1 | 61,8 | 63,1 | 56,4 |
| Vazio: | 49,3 | 48,3 | 52,7 | 51,27 |
| Super Vazio: | 48,8 | 50,4 | 52,2 | 51,59 |

Tabela 5.16: Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra *Similarity-Based Unanimity Borda Voting*.

| Tarifa | Tipo 1 (%) | Tipo 2 (%) | Tipo 3 (%) |
|--------------|------------|------------|------------|
| Ponta: | 1,33 | 7,93 | 7,10 |
| Cheia: | 4,79 | 9,57 | 11,88 |
| Vazio: | -3,84 | -5,79 | 2,79 |
| Super Vazio: | -5,41 | -2,31 | 1,18 |

Analisando as tabelas 5.15 e 5.16, conclui-se que a proposta é igual à obtida na regra de decisão *Simple Majority*, que já tinha sido considerada uma proposta unanimemente vantajosa para todos os 6 consumidores.

Podemos concluir que no caso 2, qualquer que seja a maioria será suficiente para haver benefícios para qualquer consumidor, podendo presumir melhorias contratuais, seja qual seja a estratégia adotada.

5.2.1.3 Caso 3: Cinco Escolas Públicas e a Biblioteca

Neste último caso de estudo, continua-se com as 5 escolas, mas substitui-se o Instituto Politécnico (IPT) pela Biblioteca (BM), que diz respeito ao novo consumidor do tipo 3.

A BM acrescenta muito pouco à coligação, pois tem volumes quase desprezáveis quando comparados com os volumes dos restantes elementos da aliança, e preços altíssimos e desproporcionais, quando comparados com os preços de qualquer outro consumidor. Assim, qualquer proposta vinda do retalhista será sempre aceite por este consumidor.

Para as tabelas 5.17 e 5.18 considerou-se a estratégia *Simple Majority*, seguindo o mesmo padrão dos casos 1 e 2.

Tabela 5.17: Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra *Simple Majority*.

| Tarifa | Tipo 1 (€/MWh) | Tipo 2 (€/MWh) | Tipo 3 (€/MWh) | Simulado (€/MWh) |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Ponta: | 61,5 | 65,5 | 78,9 | 62,76 |
| Cheia: | 59,1 | 61,8 | 78,3 | 60,09 |
| Vazio: | 49,3 | 48,3 | 69,4 | 51,07 |
| Super Vazio: | 48,8 | 50,4 | 64,5 | 51,42 |

Tabela 5.18: Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra *Simple Majority*.

| Tarifa | Tipo 1 (%) | Tipo 2 (%) | Tipo 3 (%) |
|--------------|------------|------------|------------|
| Ponta: | -2,01 | 4,37 | 25,72 |
| Cheia: | -1,65 | 2,85 | 30,30 |
| Vazio: | -3,47 | -5,42 | 35,89 |
| Super Vazio: | -5,10 | -1,98 | 25,44 |

Com a adição da BM, os valores das tabelas 6.17 e 6.18 refletem a importância desse consumidor, ou seja, aproximam este exemplo da regra *Simple Majority* do Caso 1, em que só as escolas do Tipo 1 retiravam benefícios. Como se trata de uma regra de maioria e temos uma coligação de 6 membros, basta 4 votos positivos para atingir uma maioria absoluta.

Em segundo, considerou-se o exemplo da estratégia de decisão *Similarity Simple Voting*, sendo os resultados apresentados nas tabelas 5.19 e 5.20.

Tabela 5.19: Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra *Similarity Simple Voting*.

| Tarifa | Tipo 1 (€/MWh) | Tipo 2 (€/MWh) | Tipo 3 (€/MWh) | Simulado (€/MWh) |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Ponta: | 61,5 | 65,5 | 78,9 | 65,98 |
| Cheia: | 59,1 | 61,8 | 78,3 | 59,2 |
| Vazio: | 49,3 | 48,3 | 69,4 | 49,2 |
| Super Vazio: | 48,8 | 50,4 | 64,5 | 51,41 |

Tabela 5.20: Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra *Similarity Simple Voting*.

| Tarifa | Tipo 1 (%) | Tipo 2 (%) | Tipo 3 (%) |
|--------------|------------|------------|------------|
| Ponta: | -6,79 | -0,73 | 19,58 |
| Cheia: | -0,17 | 4,39 | 32,26 |
| Vazio: | 0,20 | -1,83 | 41,06 |
| Super Vazio: | -5,08 | -1,96 | 25,46 |

As conclusões que se podem tirar, a partir dos resultados obtidos nas tabelas 5.19 e 5.20, são que os valores são bastante semelhantes aos do primeiro exemplo deste caso 3, em que as escolas do tipo 2 e o tipo 3 retiram benefícios, sendo estes bastante elevados para o tipo 3.

Como se trata de uma estratégia que segue uma regra de maioria simples ou relativa, consegue-se perceber que as escolas do tipo 1, com melhores condições contratuais atuais, sofrem com a desigualdade para os restantes coligados.

Por fim, nas tabelas 5.21 e 5.22, temos os resultados da análise da estratégia de unanimidade, ou seja, a *Similarity-Based Unanimity Borda Voting*.

Tabela 5.21: Comparação entre os preços contratualizados e os simulados usando a regra *Similarity-Based Unanimity Borda Voting*.

| Tarifa | Tipo 1 (€/MWh) | Tipo 2 (€/MWh) | Tipo 3 (€/MWh) | Simulado (€/MWh) |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Ponta: | 61,5 | 65,5 | 78,9 | 60,69 |
| Cheia: | 59,1 | 61,8 | 78,3 | 56,4 |
| Vazio: | 49,3 | 48,3 | 69,4 | 51,27 |
| Super Vazio: | 48,8 | 50,4 | 64,5 | 51,59 |

Tabela 5.22: Ganhos/Perdas dos valores simulados em percentagem usando a regra *Similarity-Based Unanimity Borda Voting*.

| Tarifa | Tipo 1 (%) | Tipo 2 (%) | Tipo 3 (%) |
|--------------|------------|------------|------------|
| Ponta: | 1,33 | 7,93 | 30,00 |
| Cheia: | 4,79 | 9,57 | 38,83 |
| Vazio: | -3,84 | -5,79 | 35,36 |
| Super Vazio: | -5,41 | -2,31 | 25,02 |

A análise das tabelas 5.21 e 5.22 permite concluir que todos os 6 consumidores ganham com esta estratégia, porque a proposta aceite tem que ser classificada por todos de forma unânime, sendo contada a proposta mais unânime (a que seja classificada mais vezes em primeiro lugar nas preferências individuais).

Em conclusão, este último caso reflete os problemas do primeiro, em que só a última maioria garante melhores contratos para todos os consumidores, e analisa se será útil para uma aliança, em que os coligados têm preços e volumes equilibrados entre si, deixar entrar um novo membro que contribua pouco nas negociações.

5.2.2 Comparação entre as Estratégias de Decisão dos Três Casos de Estudo

Nesta secção compara-se e regista-se cada estratégia por Caso, e calcula-se as percentagens de ganhos ou perdas. Compara-se a influência da adição de consumidores no Caso 2 e 3, relacionando com o Caso 1, em que a coligação é só composta pelas 5 escolas.

Começamos pela estratégia de *Simple Majority*. Na tabela 5.23 regista-se, meramente, os valores simulados de caso para essa estratégia de decisão, enquanto na tabela 5.24 comparam-se o caso 2 com o caso 1 e o caso 3 com o caso 1, na diferença de percentagens.

Tabela 5.23: Preços simulados usando a regra *Simple Majority*.

| Tarifa | Caso 1 (€/MWh) | Caso 2 (€/MWh) | Caso 3 (€/MWh) |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Ponta: | 64,0 | 60,69 | 62,76 |
| Cheia: | 58,86 | 56,4 | 60,09 |
| Vazio: | 48,14 | 51,27 | 51,07 |
| Super Vazio: | 50,96 | 51,59 | 51,42 |

Para o cálculo das percentagens, usa-se uma equação muito semelhante à adotada nas subsecções 5.2.1.1, 5.2.1.2 e 5.2.1.3, embora nestes exemplos seja entre casos.

Tabela 5.24: Comparação entre o Caso 1/Caso 2 e entre o Caso 1/Caso 3 usando a regra *Simple Majority*.

| Tarifa | Caso 1/ Caso 2 (%) | Caso 1/ Caso 3 (%) |
|--------------|--------------------|--------------------|
| Ponta: | 5,45 | 1,98 |
| Cheia: | 4,36 | -2,05 |
| Vazio: | -6,10 | -5,74 |
| Super Vazio: | -1,22 | -0,89 |

Analisando as tabelas 5.23 e 5.24, quando se relaciona o Caso 2 com o Caso 1, registra-se a importância do Instituto Politécnico (IPT) na coligação, pois este consumidor tem volumes elevados e preços semelhantes aos restantes membros de coligação, contribuindo para melhores concessões do retalhista, resultando em bons benefícios percentuais nos períodos de ponta e cheia.

De forma oposta, na comparação entre o Caso 3 e o Caso 1, a importância da biblioteca (BM) não se reflete em melhorias, apenas numa melhoria de aproximadamente 2% na tarifa de ponta, insuficiente para obter um contrato melhor, pois perde outros 2% no período cheia onde é consumida a grande maioria da energia elétrica por cada consumidor.

Em segundo, considera-se para a regra *Similarity Simple Voting*, sendo os resultados apresentados nas tabelas 5.25 e 5.26.

Tabela 5.25: Preços simulados usando a regra *Similarity Simple Voting*.

| Tarifa | Caso 1 (€/MWh) | Caso 2 (€/MWh) | Caso 3 (€/MWh) |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Ponta: | 65,75 | 63,76 | 65,98 |
| Cheia: | 59,14 | 56,99 | 59,2 |
| Vazio: | 49,14 | 52,7 | 49,2 |
| Super Vazio: | 51,4 | 52,22 | 51,41 |

Nesta estratégia, os valores das tabelas 5.25 e 5.26 revelam mais uma vez que há ganhos para a coligação do Caso 2, nas tarifas de cheia e ponta, possibilitando um contrato melhor do que o dos membros da coligação do Caso 1.

Na comparação entre o Caso 3 e o Caso 1, as perdas do Caso 3 são inexistentes (0,35 no período de ponta, 0,1 no de cheia, 0,12 no vazio e 0,02 no super vazio), mas mais uma vez atestam para a pouca importância da Biblioteca, incapaz de contribuir com mais valor

5.3. ANÁLISE GLOBAL DE CUSTOS ENTRE CADA EXEMPLO E O CONTRATO REAL

Tabela 5.26: Comparação entre o Caso 1/Caso 2 e entre o Caso 1/Caso 3 usando a regra *Similarity Simple Voting*.

| Tarifa | Caso 1/ Caso 2 (%) | Caso 1/ Caso 3 (%) |
|--------------|--------------------|--------------------|
| Ponta: | 3,12 | -0,35 |
| Cheia: | 3,77 | -0,10 |
| Vazio: | -6,76 | -0,12 |
| Super Vazio: | -1,57 | -0,02 |

para a coligação ao nível de volumes de energia elétrica.

Por último, considera-se a estratégia *Similarity-Based Unanimity Borda Voting*, sendo os resultados apresentados nas tabelas 5.27 e 5.28.

Tabela 5.27: Preços simulados usando a regra *Similarity-Based Unanimity Borda Voting*.

| Tarifa | Caso 1 (€/MWh) | Caso 2 (€/MWh) | Caso 3 (€/MWh) |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Ponta: | 60,69 | 60,69 | 60,69 |
| Cheia: | 56,4 | 56,4 | 56,4 |
| Vazio: | 51,27 | 51,27 | 51,27 |
| Super Vazio: | 51,59 | 51,59 | 51,59 |

Analisando os resultados obtidos nas tabelas 5.28 e 5.29, conclui-se que os preços nos três casos são iguais, pois foram obtidas propostas unanimemente classificadas em primeiro lugar pelos consumidores que fazem parte de cada caso, não sendo pois necessário ver as diferenças em percentagem, pois estas não existem.

Nesta última análise, os preços resultam de uma proposta vinda do retalhista, que é aceite de forma unânime por todos os consumidores membros de cada exemplo de aliança.

5.3 Análise Global de Custos entre Cada Exemplo e o Contrato Real

Para a última análise, calculamos quanto gastaria cada consumidor por ano, separando os consumidores de cada caso, as três estratégias de decisão estudadas e usando a estratégia de negociação de concessões por volume de energia para o retalhista, sendo os valores obtidos comparados com o contrato atual de cada consumidor, para o mesmo período.

Usa-se uma equação em que se multiplica o valor simulado de cada consumidor em cada caso (C1, C2 e C3), com o volume em contrato por tarifa (ponta, cheia, vazio e super vazio), somando as quatro parcelas e multiplicando o resultado obtido da soma por 12. Os resultados são apresentados nas tabelas 5.28, 5.29 e 5.30, para cada caso.

Tabela 5.28: Comparação entre os preços simulados (Anuais) e o contrato real (Anual) para o Caso 1.

| Estratégia (Caso) | EGP (€/Ano) | ESI (€/Ano) | ESM (€/Ano) | ENAP (€/Ano) | EJR (€/Ano) |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| SM (C1) | 8575,72 | 7473,06 | 12085,49 | 9289,95 | 10632,19 |
| SSV (C1) | 8679,83 | 7561,06 | 12238,29 | 9394,15 | 10759,94 |
| SBUBV (C1) | 8317,39 | 7250,65 | 11685,47 | 8996,54 | 10431,05 |
| Contrato Atual | 8896,80 | 7748,78 | 11979,16 | 9641,67 | 10581,56 |

Os consumidores do caso 1, na tabela 5.28, pagariam menos nas escolas EGP, ESI e ENAP, para qualquer estratégia de decisão, mas os consumidores de maior volume (ESM e EJ) só beneficiariam no caso de uma estratégia de *ranking* unânime, tipo a regra *Similarity-Based Unanimity Borda Voting*.

Tabela 5.29: Comparação entre os preços simulados (Anuais) e o contrato real (Anual) para o Caso 2.

| Estratégia (Caso) | EGP (€/Ano) | ESI (€/Ano) | ESM (€/Ano) | ENAP (€/Ano) | EJR (€/Ano) | IPT (€/Ano) |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| SM (C2) | 8317,39 | 7250,65 | 11685,47 | 8996,54 | 10431,05 | 68954,07 |
| SSV (C2) | 8501,30 | 7406,19 | 11957,00 | 9182,43 | 10648,99 | 70546,98 |
| SBUBV (C2) | 8317,39 | 7250,65 | 11685,47 | 8996,54 | 10431,05 | 68954,07 |
| Contrato Atual | 8896,80 | 7748,78 | 11979,16 | 9641,67 | 10581,56 | 74567,07 |

Da análise à tabela 5.29 conclui-se que são negociados volumes muito superiores em relação a qualquer um dos outros dois tipos de coligação, e como a estratégia de negociação é por concessões derivadas dos volumes de energia elétrica entende-se que o retalhista ofereça melhores condições e que cada regra de decisão dos consumidores resulte em bons contratos finais, melhores que os contratos atuais.

O último exemplo da tabela 5.30, é semelhante ao do caso 1, apesar de ter mais um consumidor. Este consumidor, BM, não beneficia em nada a coligação podendo ser referido como indesejável, caso esta coligação fosse extrapolada para o mundo real.

5.3. ANÁLISE GLOBAL DE CUSTOS ENTRE CADA EXEMPLO E O CONTRATO REAL

Tabela 5.30: Comparação entre os preços simulados (Anuais) e o contrato real (Anual) para o Caso 3.

| Estratégia (Caso) | EGP (€/Ano) | ESI (€/Ano) | ESM (€/Ano) | ENAP (€/Ano) | EJR (€/Ano) | BM (€/Ano) |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|---------------|
| SM (C3) | 8700,46 | 7584,78 | 12233,07 | 9248,56 | 10841,44 | 2866,13 |
| SSV (C3) | 8693,76 | 7572,83 | 12259,11 | 9408,49 | 10775,16 | 2858,67 |
| SBUBV (C3) | 8317,39 | 7250,65 | 11685,47 | 8996,54 | 10431,05 | 2724,20 |
| Contrato Atual | 8896,80 | 7748,78 | 11979,16 | 9641,67 | 10581,56 | 3714,81 |

Para finalizar, analisa-se na tabela 5.31 o que cada consumidor poderia poupar, adotando a estratégia de decisão mais benéfica, e a percentagem que esse valor representa perante o contrato atual.

Tabela 5.31: Poupança obtida a partir da comparação entre os valores da tabela 5.30 e a estratégia mais benéfica e a percentagem em relação ao contrato atual.

| Consumidor | Poupança (€/Ano) | Valor (%) |
|------------|------------------|-----------|
| EGP | 579,41 | 6,51 |
| ESI | 498,13 | 6,43 |
| ESM | 293,69 | 2,45 |
| ENAP | 645,13 | 6,69 |
| EJR | 150,41 | 1,42 |
| IPT | 5613,01 | 7,53 |
| BM | 990,61 | 26,67 |

Analisando a tabela 5.31 verifica-se que todos os consumidores têm pelo menos uma estratégia de decisão onde conseguem retirar benefícios, e como pode ser observado os consumidores com mais volume, IPT, e o com piores preços no contrato original, BM, são os que conseguem retirar os melhores benefícios.

Concluindo, pode-se afirmar que a melhor estratégia de decisão é, obviamente, a *Similarity-Based Unanimity Borda Voting*, seja qual for o caso, porque é onde se retiram as melhores propostas finais. Como necessita que haja um entendimento mais assertivo entre os coligados, ou seja, não basta haver uma maioria concertada ou absoluta, em certo modo todos os consumidores participam e elegem a proposta que mais lhes satisfaça, não deixando acabar as negociações sem que haja uma classificação unânime das propostas. Pode-se verificar, também, que comparando com o contrato que os consumidores têm em vigor, uma coligação seria benéfica para obter melhores condições.

CONCLUSÃO

Neste capítulo faz-se uma síntese dos resultados obtidos para os vários casos de estudo, além de se sugerir possíveis tarefas a desenvolver em trabalhos futuros.

6.1 Síntese de Resultados

É possível perceber que de todas as estratégias, em qualquer um dos casos de estudo, a que dá origem a um pior contrato para a maioria dos consumidores é a *Simple Majority*, no caso 3.

Como se pode concluir, a Biblioteca é um parceiro que contribui muito pouco para a aliança, porque os seus volumes são quase desprezáveis para o somatório total (aproximadamente 37% do volume do coligado seguinte com o volume mais baixo, ESI), e os preços que tem em contrato são muito altos, pelo que qualquer proposta do retalhista, mesmo que seja má para os outros consumidores, será sempre aceite por este membro. O caso 3 poderia perfeitamente, resultar numa regra geral de divisão de ganhos de equidade (secção 3.3), onde a Biblioteca seria prejudicada por contribuir muito pouco, enquanto os outros casos (1 e 2) se aproximam mais de um standard de igualdade. Apesar disso, nestas simulações foram usados regras gerais de necessidade, ou seja, cada consumidor recebe o volume de energia que precisa.

O Instituto Politécnico (IPT), devido às suas características, é um consumidor de extrema importância, porque não só adiciona um grande volume de energia elétrica à negociação, como também, não faz variar o nível médio dos preços iniciais da coligação. Pode-se concluir, que o caso 2 é o mais representativo de uma aliança ideal, e dos ganhos

que se podem obter, em relação aos outros casos.

Na melhor das hipóteses, o contrato simulado, comparando com o contrato real, permitiria poupar mais de 5600 €/ano, no caso do Instituto Politécnico, que significaria aproximadamente 7%, ou no caso da Biblioteca que significaria uma poupança de mais de 26% (990 €/ano) do seu valor original, como pode ser analisado na tabela 5.31.

Uma estratégia de decisão ideal, será sempre aquela que resulte numa escolha unânime, qualquer seja a coligação, especialmente se os consumidores coligados tiverem contratos com preços muito diferentes uns dos outros, que leve a que uma regra de maioria (simples ou absoluta) prejudique sempre algum consumidor que tenha já melhores condições.

Assim, numa coligação, os consumidores devem ter características ou condições semelhantes para haver resultados finais mais justos.

Podemos concluir, após esta síntese, que uma coligação ou aliança de consumidores pode mesmo ser benéfica numa negociação de energia elétrica. Obtiveram-se resultados que comprovam que os contratos estabelecidos, previamente, como desatualizados, mesmo segundo o mercado dos preços *spot* do OMIP para os anos testados de 2014, 2015 e os primeiros cinco meses de 2016, e que a negociação em grupo só vem revelar ainda mais os desajustes, ou o aproveitamento de agentes retalhistas perante uma negociação com consumidores singulares. Compreende-se então as potencialidades que as alianças de consumidores têm para se tornarem mais comuns, para que os consumidores saiam beneficiados, e que exemplos, como o *Carbon Co-op* (<http://carbon.coop/>) sejam levados em conta em Portugal.

6.2 Trabalho Futuro

Simularam-se coligações usando uma estratégia de negociação relacionada com o volume de energia negociado, quanto maior o volume maiores concessões do retalhista. No entanto podia-se idealizar outro tipo de estratégia em que o retalhista estaria mais disponível a maiores concessões quanto maior fosse o numero de membros da coligação, ou seja, interferindo indiretamente com a quantidade de energia, mas mais na perspetiva do número de clientes que o comercializador poderia perder ou ganhar.

Podia criar-se também, no simulador MAN-REM, a possibilidade de uma coligação negociar contratos por opções ou por diferenças, por exemplo. Isto permitiria ainda explorar outras condições que um contrato *forward* não permite.

BIBLIOGRAFIA

- [1] edp.pt. *História da Marca*. url: <http://www.edp.pt/pt/aedp/sobreaedp/marcaEDP/Pages/HistoriaMarca.aspx>. acedido em 2016.
- [2] edp.pt. *Sistema Eléctrico Português*. url: <http://www.edp.pt/pt/aedp/sectordeenergia/sistemaelectricoportugues/Pages/SistElectNacional.aspx>. acedido em 2016.
- [3] Erse.pt. *Liberalização do Setor*. url: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/liberalizacaodosector/Paginas/default.aspx>. acedido em 2016.
- [4] F. Lopes, C. Ilco e J. Sousa. *Bilateral negotiation in energy markets: Strategies for promoting demand response*. International Conference on the European Energy Market, EEM-13, IEEE, 2013, pp. 1–6.
- [5] H. Algarvio, F. Lopes e J. Santana. *Multi-agent Retail Energy Markets: Bilateral Contracting and Coalitions of End-use Customers*. 12th International Conference on the European Energy Market (EEM), IEEE, 2015, pp. 1–5.
- [6] H. Algarvio, F. Lopes e J. Santana. *Multi-agent Retail Energy Markets : Contract Negotiation , Customer Coalitions and a Real-World Case Study*. Advances in Practical Applications of Scalable Multi-agent Systems. The PAAMS Collection, Springer International Publishing, 2016, pp. 13–23.
- [7] F. Lopes, N. Mamede, A. Q. Novais e H. Coelho. *A Negotiation Model for Autonomous Computational Agents: Formal Description and Empirical Evaluation*. Vol. 12. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, IOS Press, 2002, pp. 195–212.
- [8] F. Lopes, N. Mamede, A. Q. Novais e H. Coelho. *Negotiation Among Autonomous Computational Agents: Experimental Evaluation of Integrative Strategies*. IEEE Computer Society Press, 12th Portuguese Conference on Artificial Intelligence, 2005, pp. 280–288.
- [9] F. Lopes e H. Coelho. *Concession Strategies for Negotiating Bilateral Contracts in Multi-Agent Electricity Markets*. 23rd International Workshop on Database & Expert Systems Applications, IEEE, 2012, pp. 321–325.
- [10] F. Lopes, H. Algarvio e H. Coelho. *Bilateral Contracting in Multi-Agent Electricity Markets: Negotiation Strategies and a Case Study*. 10th International Conference on the European Energy Market (EEM), IEEE, 2013, pp. 1–8.

- [11] M. R. Rodrigues. “Estratégias para Negociação de Contratos Bilaterais em Mercados Multi-Agente de Energia Eléctrica”. Em: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Departamento de Engenharia Electrotécnica, 2012.
- [12] Erse.pt. *Mercado Retalhista*. url: <http://www.erse.pt/pt/supervisaodemercados/MercadoRetalhista/Paginas/default.aspx>. acedido em 2016.
- [13] Erse.pt. *Mercado Grossista*. url: <http://www.erse.pt/pt/supervisaodemercados/mercadodeelectricidade/Paginas/default.aspx>. acedido em 2016.
- [14] Erse.pt. *Mercado Diário*. url: <http://www.erse.pt/pt/supervisaodemercados/mercadodeelectricidade/mercadodiario/Paginas/default.aspx>. acedido em 2016.
- [15] Erse.pt. *Mercado A Prazo*. url: <http://www.erse.pt/pt/supervisaodemercados/mercadodeelectricidade/mercadoaprazo/Paginas/default.aspx>. acedido em 2016.
- [16] D. S. Kirschen e G. Strbac. *Fundamentals of Power System Protection*. John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
- [17] F. D. S. de Sousa. “Comercialização Bilateral de Energia em Mercados Liberalizados: Contratos por Diferenças e Gestão de Risco”. Em: Instituto Superior Técnico de Lisboa, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, 2014.
- [18] Mibel.com. *Mibel*. url: <http://www.mibel.com/index.php?lang=pt>. acedido em 2016.
- [19] Mibel.com. *OMIP*. url: <http://www.mibel.com/index.php?>. acedido em 2016.
- [20] I. C. C. da S. P. G. Pereira. “Sistema Multi-Agente para Apoio à Negociação em Mercados de Eletricidade”. Em: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Departamento de Engenharia Electrotécnica, 2004.
- [21] Erse.pt. *Produção*. url: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/actividadesdosector/producao/Paginas/default.aspx>. acedido em 2016.
- [22] Erse.pt. *Distribuição*. url: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/actividadesdosector/distribuicao/Paginas/default.aspx>. acedido em 2016.
- [23] Erse.pt. *Comercialização*. url: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/actividadesdosector/comercializacao/Paginas/default.aspx>. acedido em 2016.
- [24] F. L. Bellifemine, G. Caire e D. Greenwood. *Developing Multi-Agent with JADE Systems*. John Wiley & Sons, Ltd, 2007.
- [25] D. Vidigal. “Comercialização de Energia em Mercados em Bolsa : Simulador Multi-agente e Análise do Impacto da Geração Variável nos Preços Diários”. Em: Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, 2015.

- [26] Erse.pt. *Tarifas e Preços*. : <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/Paginas/default.aspx>. acedido em 2016.
- [27] Erse.pt. *Períodos e Horários*. url: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/default.aspx>. acedido em 2016.
- [28] V. Sànchez-anguix e A. García-fornes. *Analyzing Intra-Team Strategies for Agent-Based Negotiation Teams*. 10th Int. Conf. on Autonomous Agents & Multiagent Systems (AAMAS 2011), 2011, pp. 2–6.
- [29] F. Lopes, M. Wooldridge e A. Q. Novais. *Negotiation among autonomous computational agents*. Vol. 29. Artificial Intelligence Review, 2008, pp. 1–44.
- [30] F. Lopes e H. Coelho. *Strategic and Tactical Behaviour in Automated Negotiation*. Vol. 4. Int. Journal of Artificial Intelligence, 2010, pp. 35–63.
- [31] aet.pt. url: <http://www.aet.pt/>. acedido em 2016.
- [32] jornal cidadetomar. url: <http://www.cidadetomar.pt/noticia.php?id=2657>. acedido em 2016.
- [33] prof2000.pt. url: <http://www.prof2000.pt/users/clementi/caracteri.html>. acedido em 2016.
- [34] tomarnarede.blogspot.pt. url: <http://tomaracidade.blogspot.pt/2011/10/escola-secundaria-santa-maria-do-olival.html>. acedido em 2016.
- [35] redeconstrucao.com. url: <https://www.redeconstrucao.com/obras-de-remodelacao-da-escola-d-nuno-alvares-pereira-em-tomar-com-desconformidade-de-2-6-milhoes-3027>. acedido em 2016.
- [36] jornal otemplario. url: <http://www.otemplario.pt/>. acedido em 2016.
- [37] tomartv.com. url: <http://www.tomartv.com/2015/02/biblioteca-municipal-de-tomar-convida-para-o-cha/>. acedido em 2016.
- [38] OMIP.pt. *Spot Prices and Volumes*. url: <http://www.omip.pt/Downloads/tabid/104/language/en-GB/Default.aspx>. acedido em 2016.

A P Ê N D I C E



ANEXOS

APÊNDICE A. ANEXOS

| OMEL PT Hourly Prices | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 59,75 | 52,65 | 49 | 49,34 | 50 | 52,48 | 56,9 | 59,75 | 62,69 | 64,08 | 65 | 66,5 | 66,21 | 64,23 | 60,69 | 59 | 58,25 | 59,61 | 59,61 | 59,61 | 60,69 | 62,21 | 61,87 | 56,25 |
| 48,79 | 46,25 | 46,25 | 46,37 | 46,71 | 48,9 | 59,13 | 62 | 64,13 | 64,19 | 66 | 66,5 | 67,08 | 65,57 | 61,87 | 61 | 60,94 | 62,5 | 62,21 | 62 | 61,87 | 63,01 | 62,7 | 59,75 |
| 53,75 | 46,64 | 45,64 | 45,5 | 45,55 | 45,64 | 46,64 | 45,79 | 48,11 | 46,64 | 48,11 | 52,34 | 53,75 | 57,19 | 53,6 | 48,11 | 46,37 | 45,45 | 45,64 | 46,37 | 48,11 | 56,6 | 61,1 | 56,87 |
| 52,65 | 46,64 | 45,69 | 45,99 | 46,02 | 46,03 | 46,71 | 48,14 | 59,61 | 64,19 | 64,23 | 65 | 65 | 65 | 62,69 | 59,61 | 58,67 | 58,6 | 59 | 56,03 | 57,8 | 59,13 | 60,5 | 52,65 |
| 63,6 | 61 | 59,13 | 59,32 | 59,51 | 60,18 | 62,21 | 64,13 | 65,57 | 67 | 67,1 | 67,57 | 67,1 | 66,1 | 63,33 | 61,75 | 61,5 | 62,1 | 62 | 61,94 | 60,8 | 61 | 60,53 | 56,1 |
| 59,7 | 58,9 | 55 | 53,6 | 53,62 | 58,67 | 60,8 | 62,69 | 64,19 | 64,69 | 65,01 | 65,19 | 65,19 | 64,19 | 61 | 59,7 | 60,5 | 62 | 61,49 | 59,61 | 59,61 | 63,52 | 64,03 | 59,61 |
| 55,5 | 53,75 | 50,63 | 49,96 | 50 | 53,22 | 58,67 | 60,69 | 64,13 | 64,19 | 64,19 | 64,19 | 64,69 | 64,19 | 60,8 | 59,61 | 60,03 | 60,8 | 60,6 | 59,61 | 60,67 | 63,33 | 64 | 59,61 |
| 62,21 | 59,13 | 53,75 | 53 | 53 | 53,48 | 59,13 | 61,45 | 64,19 | 64,69 | 65 | 65,02 | 65 | 62,99 | 57,1 | 53,22 | 53 | 53,75 | 53,6 | 53,75 | 58,67 | 62,21 | 62,5 | 55 |
| 58 | 53,48 | 52,67 | 53 | 52,1 | 53,86 | 59,6 | 62,5 | 65,48 | 66,99 | 66,05 | 65,98 | 65,48 | 64,3 | 61,54 | 59,04 | 61 | 62,13 | 61,54 | 60,99 | 62,19 | 64,83 | 64,15 | 61,54 |
| 44,2 | 41,71 | 41,13 | 40,85 | 40,35 | 40,6 | 40,85 | 40 | 41,71 | 41,8 | 48,85 | 53,48 | 52,1 | 53,61 | 52,1 | 43,5 | 42,87 | 42,87 | 52,1 | 53,9 | 54,8 | 56,3 | 60,21 | 56,6 |
| 46,03 | 41 | 37 | 35,4 | 33,52 | 33,52 | 33,52 | 36,6 | 42,5 | 48,15 | 53,05 | 53,95 | 54,1 | 54,55 | 53,1 | 49,77 | 45,14 | 43,88 | 45,93 | 48,15 | 52,9 | 55,3 | 56,13 | 53,81 |
| 41,4 | 35,6 | 33,55 | 33,55 | 33,55 | 33,92 | 41,01 | 50,4 | 56,61 | 56,61 | 57,19 | 56,61 | 57,87 | 57,05 | 55,32 | 54,6 | 54,6 | 54,05 | 52,3 | 47,67 | 49,44 | 53,61 | 53,1 | 43,8 |
| 38,45 | 33,92 | 30,13 | 28,6 | 28,56 | 30,4 | 34,99 | 42,37 | 44,19 | 50,07 | 51,73 | 52,9 | 55,13 | 55,1 | 52,69 | 47,05 | 52,69 | 53,2 | 52,69 | 52,1 | 54 | 56,05 | 55,67 | 43,8 |
| 47,05 | 43 | 42,43 | 39,05 | 38,55 | 39 | 42,43 | 52,7 | 56,13 | 56,61 | 56,61 | 56,13 | 56,13 | 56,13 | 52,5 | 47,05 | 49,72 | 51,13 | 47,05 | 44,98 | 46,19 | 51,42 | 50,76 | 42,43 |
| 52,37 | 46,44 | 44,37 | 43,62 | 43,62 | 44,35 | 46,6 | 53,75 | 56,61 | 58,64 | 58,3 | 58,1 | 59,75 | 59,75 | 56,61 | 55,67 | 56 | 56,13 | 55,67 | 55,98 | 56,61 | 57,69 | 56,19 | 51,6 |
| 54,49 | 47,5 | 44,35 | 43,44 | 42,87 | 43,44 | 48 | 53,75 | 59,75 | 62,48 | 62,95 | 62,69 | 63,95 | 62,95 | 62,19 | 60,1 | 60 | 60,1 | 59,75 | 57 | 58,1 | 58,95 | 57,69 | 52,78 |
| 55,67 | 48,44 | 45 | 44,35 | 43,75 | 44,09 | 44 | 43,44 | 44,98 | 46,6 | 48,35 | 51,5 | 53,1 | 54,6 | 53,75 | 51,24 | 48,1 | 48,3 | 51,53 | 55,67 | 56,61 | 62,19 | 64 | 61,57 |
| 60,21 | 58,95 | 55,1 | 52,78 | 53,44 | 53,6 | 52,78 | 52,1 | 57,07 | 60 | 62,19 | 62,23 | 62,13 | 60,15 | 58,1 | 53,6 | 47,91 | 47,59 | 50,65 | 55 | 57,07 | 60 | 62,13 | 58,21 |
| 62,69 | 60,49 | 57,2 | 53,75 | 50 | 49,41 | 54,58 | 59,75 | 62,07 | 62,5 | 62,6 | 62,5 | 62,5 | 62,07 | 58,21 | 54,58 | 53,75 | 54,59 | 54,58 | 54,69 | 58,95 | 62,03 | 62,19 | 61,41 |
| 62,22 | 59,69 | 54,2 | 53,45 | 52,44 | 53,92 | 55,53 | 59,75 | 62,59 | 64,19 | 65,19 | 65,69 | 65,69 | 65,19 | 62,5 | 60 | 60,3 | 61,26 | 62 | 61,26 | 62,51 | 64,5 | 65 | 64,1 |
| 57,8 | 52,6 | 50,69 | 48,13 | 49 | 50,82 | 54,58 | 57,07 | 61,56 | 60,8 | 60,69 | 60,69 | 60,19 | 59,6 | 55,07 | 53,35 | 54,58 | 56,63 | 59,6 | 60,19 | 61 | 62,48 | 62,48 | 60,8 |
| 54,58 | 51,6 | 46,44 | 45,01 | 44,82 | 45,52 | 49,05 | 56,07 | 62,06 | 62,48 | 62,48 | 62,59 | 63,1 | 62,69 | 62,06 | 60,19 | 60,1 | 61,29 | 61,29 | 60,3 | 60,69 | 62,59 | 62,48 | 60 |
| 53,75 | 45,01 | 43,44 | 43,41 | 43,01 | 43,51 | 46,5 | 55,53 | 59,75 | 60,6 | 61,6 | 62 | 62,48 | 62,48 | 60,7 | 60,48 | 60,6 | 61,1 | 61 | 59,75 | 59 | 61 | 59,7 | 54,58 |
| 48,53 | 43 | 41 | 40,5 | 40,5 | 40,5 | 39,67 | 39 | 40 | 40,5 | 42,93 | 47 | 51,64 | 55,53 | 55,07 | 44,35 | 43,99 | 43,98 | 44,97 | 46,97 | 44,97 | 56,07 | 61,1 | 56,07 |
| 50,89 | 45,06 | 43,5 | 43,13 | 42,94 | 42,46 | 42,25 | 42,46 | 44,97 | 53,75 | 55,53 | 57 | 57,48 | 59,49 | 57 | 50,07 | 44,35 | 44,35 | 43,65 | 43,49 | 44,35 | 53,75 | 55,53 | 45,06 |
| 54,07 | 47,5 | 45 | 44,89 | 44,99 | 45,11 | 51,6 | 57,5 | 60,22 | 61 | 61,22 | 61,51 | 61,59 | 61,49 | 60,1 | 59,14 | 59,09 | 59,4 | 58,48 | 57,5 | 58,48 | 58,48 | 57,07 | 53 |
| 56,7 | 53,5 | 49,79 | 48,9 | 47,3 | 49,47 | 53 | 57,48 | 59 | 59,2 | 59,14 | 59,14 | 59,33 | 59 | 57,48 | 57,1 | 57,48 | 59,14 | 58 | 58 | 58,9 | 60,21 | 59,95 | 56,7 |
| 53,5 | 51,04 | 46,5 | 46,37 | 45,65 | 47 | 53 | 56,6 | 59,02 | 60,1 | 60,21 | 60,5 | 60,5 | 60,09 | 57 | 55,5 | 56,23 | 57,49 | 56,6 | 56 | 56,69 | 59,6 | 59,03 | 54,98 |
| 52,95 | 51 | 48 | 48 | 49,19 | 52,45 | 54,05 | 57,49 | 60,69 | 60,8 | 60,95 | 61,19 | 60,95 | 60,5 | 57,93 | 57,49 | 57,49 | 58,69 | 57,03 | 55 | 56,23 | 59,03 | 58 | 54,05 |
| 53,01 | 45,65 | 44,04 | 43,58 | 43,98 | 44,91 | 51 | 55,76 | 59,95 | 60,5 | 61,29 | 61,69 | 61,95 | 61,29 | 60,09 | 60,5 | 60,69 | 60,69 | 58,9 | 57 | 57 | 59,88 | 59,6 | 55,76 |

Figura A.1: Preços do Mercado *Spot* para Junho de 2015 [38].

| OMEL PT Hourly Prices | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 55,01 | 47,87 | 46,79 | 46,61 | 46,37 | 46,61 | 48 | 52,57 | 59 | 62,93 | 63,93 | 63,29 | 63,29 | 62,1 | 59,49 | 57,63 | 57,1 | 57,97 | 53,87 | 53 | 56,57 | 60,22 | 60,47 | 54,71 |
| 49,1 | 46,79 | 45,5 | 45 | 42,8 | 44,7 | 45,8 | 47,36 | 54,1 | 61,98 | 62,47 | 63,27 | 64,03 | 64,27 | 62,6 | 62 | 62,1 | 62,47 | 60,91 | 59,1 | 61,57 | 63,49 | 63,49 | 57,1 |
| 61,98 | 51,6 | 48,6 | 49 | 48,1 | 49,08 | 57,1 | 62,93 | 66 | 68,3 | 68,46 | 70 | 70,68 | 70,01 | 67,1 | 65,1 | 63,49 | 62,57 | 59,68 | 57,1 | 54,72 | 62,1 | 62,93 | 54,72 |
| 61,98 | 52,54 | 49,61 | 49 | 49 | 50 | 59,1 | 62,93 | 66,12 | 69,1 | 70 | 71,02 | 71,67 | 71,02 | 68,46 | 66,71 | 66,7 | 66,5 | 64,8 | 63,49 | 63,49 | 66,1 | 66,2 | 60,1 |
| 47,55 | 45,61 | 44,54 | 43,8 | 42,75 | 44,72 | 46,69 | 52,12 | 63,96 | 68 | 69,01 | 70,3 | 71,2 | 70,79 | 68,69 | 68,1 | 68,1 | 68,46 | 68 | 67,4 | 67 | 68,1 | 68,1 | 62,69 |
| 62,1 | 51,8 | 48 | 47,45 | 47,35 | 46,78 | 46,41 | 44,54 | 45,1 | 46,41 | 47 | 47,85 | 48,1 | 47,85 | 46,61 | 44,72 | 43,41 | 42,75 | 44,72 | 45,69 | 48 | 62,93 | 68,16 | 63,29 |
| 47,85 | 45,5 | 43,5 | 40,78 | 39,91 | 40,5 | 40,94 | 40,5 | 45 | 46,67 | 48,67 | 58,6 | 62,19 | 62,93 | 58,6 | 52,81 | 51,36 | 51,57 | 51,25 | 53 | 61,09 | 64,6 | 67,1 | 62,93 |
| 64,1 | 52,54 | 50,25 | 49,5 | 48,5 | 49,5 | 51,33 | 62,5 | 66,22 | 68,6 | 68,98 | 69,1 | 70 | 68,98 | 66,2 | 63,07 | 62,47 | 61,49 | 58,75 | 54,32 | 54,34 | 60 | 60,5 | 51,75 |
| 61,23 | 51,5 | 49,99 | 50,84 | 51,25 | 51,74 | 62 | 66,8 | 68,98 | 69,48 | 70,2 | 70,49 | 70,81 | 70,81 | 69,73 | 68,98 | 69,1 | 69,48 | 68,98 | 67,59 | 66,96 | 68,16 | 68,98 | 64,03 |
| 65,74 | 61,2 | 53,59 | 52,54 | 51,5 | 51,33 | 56,01 | 63,03 | 66,01 | 69 | 70,01 | 70,49 | 71 | 70,6 | 69,68 | 68,98 | 68,98 | 68,16 | 66,21 | 65,27 | 64,03 | 66,1 | 66,1 | 61,1 |
| 65,74 | 59 | 52,91 | 52,85 | 52,6 | 52,85 | 62,1 | 65,49 | 68,16 | 70,3 | 71 | 71,35 | 71,65 | 71,41 | 69,73 | 69,03 | 68,5 | 69,1 | 66,96 | 66,39 | 65,27 | 68,16 | 69,34 | 66,1 |
| 63,29 | 52,35 | 50 | 48,67 | 47,98 | 49,81 | 52,85 | 62,24 | 63,6 | 69,48 | 71,56 | 71,82 | 72,15 | 72 | 70,78 | 69,1 | 69,1 | 70 | 69,34 | 68,16 | 67,63 | 69 | 69 | 63 |
| 69,01 | 62,93 | 54,33 | 50,7 | 49,66 | 47,98 | 49,81 | 47,85 | 45,94 | 48,73 | 51,58 | 54,33 | 57,2 | 62,47 | 60 | 52,35 | 50,7 | 51 | 52,35 | 54,32 | 55,27 | 71,03 | 72,48 | 70,3 |
| 69,48 | 67,6 | 62,47 | 61 | 57,1 | 54,34 | 54,04 | 51,36 | 64,63 | 68,1 | 68,16 | 69 | 68,69 | 67,6 | 62,93 | 51,1 | 49,99 | 50,63 | 51,5 | 61 | 66,96 | 70 | 71 | 67,6 |
| 63 | 51,2 | 50,6 | 50,89 | 51,1 | 53,99 | 62 | 62,93 | 64,03 | 68,8 | 69,73 | 70 | 69,73 | 69,08 | 66,96 | 63,28 | 63,08 | 65,27 | 66,96 | 67,98 | 68,16 | 68,9 | 69,08 | 66,96 |
| 63,77 | 59 | 52 | 53,46 | 50,73 | 51,2 | 61,43 | 65,46 | 65,46 | 68,6 | 68,69 | 69,1 | 69,5 | 69,36 | 66,66 | 64,6 | 65,1 | 66,94 | 68,14 | 68,27 | 69,01 | 70 | 70,1 | 65,46 |
| 60,43 | 50,85 | 49,46 | 47,98 | 47,98 | 48,8 | 56,47 | 61,57 | 64,5 | 66,6 | 68,1 | 69,48 | 69,69 | 69,48 | 67,03 | 65,51 | 65,51 | 65,51 | 65,32 | 63,71 | 62,89 | 65,1 | 65,51 | 60,7 |
| 61,1 | 53,21 | 48,7 | 48,5 | 49,28 | 48,5 | 53,98 | 52 | 60,98 | 64 | 66,59 | 69,1 | 69,69 | 69,69 | 67,5 | 65,6 | 66,4 | 66,1 | 64,34 | 61,66 | 60,98 | 62,22 | 63,15 | 56,81 |
| 61,26 | 48,5 | 47,98 | 47,98 | 47,85 | 48,7 | 61,26 | 62,43 | 65,1 | 66,47 | 68,1 | 69,69 | 70,6 | 70,25 | 69 | 67,6 | 69,1 | 69,27 | 68,1 | 65,42 | 63,8 | 65,42 | 65,85 | 60,6 |
| 61,78 | 50,84 | 48,7 | 48,3 | 47,3 | 46,73 | 46,27 | 44,59 | 45,97 | 46,27 | 48,8 | 53,08 | 57,07 | 61,78 | 61,38 | 53,97 | 50,63 | 49,1 | 49,2 | 48,7 | 50,84 | 61,38 | 64,8 | 60,79 |
| 60,25 | 51,59 | 48,5 | 48,2 | 46,84 | 46,52 | 46,73 | 45,6 | 48,5 | 51,31 | 60,89 | 63,31 | 64,31 | 65,28 | 63,31 | 60,6 | 57,1 | 54,02 | 54,61 | 56,5 | 60,83 | 63,31 | 63,6 | 60,6 |
| 64,69 | 63,2 | 61,69 | 61 | 60,53 | 60,53 | 62,5 | 62,52 | 64,69 | 66,1 | 66,1 | 66,9 | 67,03 | 65,4 | 63,79 | 62,1 | 62,29 | 62,7 | 62,29 | 61,98 | 62 | 62,52 | 62,52 | 55,68 |
| 49,99 | 47,98 | 45,88 | 45,79 | 45,88 | 48,09 | 48,09 | 48,69 | 50,52 | 59,69 | 62,52 | 65 | 67 | 67,57 | 65,6 | 66,6 | 68,99 | 69,43 | 68,99 | 68,99 | 68,6 | 69,48 | 69,5 | 67 |
| 60,53 | 51,28 | 48,5 | 48,5 | 48,5 | 48,5 | 52,13 | 52,34 | 59,69 | 64 | 65,1 | 67,08 | 68,15 | 68,1 | 66,54 | 64,41 | 64,13 | 64,18 | 62,5 | 60,25 | 60,11 | 61,57 | 61,11 | 55 |
| 62,7 | 60 | 50,84 | 51 | 51,57 | 56,9 | 62 | 62,5 | 65 | 67,48 | 68,6 | 69 | 69,01 | 68,09 | 64,89 | 63,96 | 62,7 | 62,73 | 61,61 | 59,69 | 54,07 | 56,4 | 59,69 | 55 |
| 49,99 | 46,6 | 46,02 | 46,37 | 46,71 | 49 | 57 | 59,69 | 62 | 67,17 | 68,99 | 69,1 | 68,99 | 67 | 63,1 | 59,69 | 59,69 | 60,11 | 60,11 | 65 | 65,05 | 64,41 | 65,15 | 60,49 |
| 61,11 | 50,84 | 46,85 | 45,64 | 45,61 | 45,45 | 45,64 | 44,32 | 45,64 | 47,35 | 50,84 | 55,1 | 59,42 | 60,1 | 59,42 | 55,1 | 48,1 | 47,8 | 47,8 | 48,1 | 50,84 | 64,13 | 65,57 | 60,53 |
| 59,69 | 51,1 | 49,35 | 49 | 49,66 | 49,8 | 50,48 | 50,47 | 59,69 | 62,29 | 64,69 | 65,69 | 65,15 | 64,41 | 62,29 | 54,5 | 50,47 | 49,99 | 50,48 | 50,84 | 60,1 | 64,33 | 64,41 | 59,69 |
| 60,61 | 56,9 | 57,88 | 59,67 | 60 | 59,67 | 60,1 | 62 | 63,19 | 65,01 | 66,1 | 65,69 | 64,69 | 61,6 | 55,24 | 54,99 | 51,7 | 60 | 58,94 | 57,34 | 57,8 | 62,37 | 63,1 | 59,67 |
| 60,12 | 55 | 51,31 | 52,64 | 55,92 | 59 | 61,3 | 63 | 65,19 | 69,01 | 69,98 | 70,02 | 70,69 | 69,98 | 69,1 | 68 | 67,1 | 68,09 | 67,9 | 65,69 | 64,23 | 65,11 | 65,19 | 62 |
| 59,52 | 51,1 | 47,5 | 48,5 | 48,79 | 50,51 | 59,13 | 60,8 | 61,87 | 64,23 | 66,5 | 67,1 | 66,1 | 65 | 59,75 | 59,61 | 59,53 | 61,1 | 61,1 | 61,1 | 61,87 | 63,71 | 64,1 | 59,13 |

Figura A.2: Preços do Mercado *Spot* para Julho de 2015 [38].

APÊNDICE A. ANEXOS

| OMEL PT Hourly Prices | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 59,99 | 50 | 47,89 | 48,62 | 48,62 | 50 | 61,01 | 64,18 | 66,12 | 70,26 | 70,57 | 70,48 | 70,73 | 70,48 | 69,1 | 67,1 | 67,1 | 67,69 | 67,69 | 67,32 | 67,6 | 70,48 | 67,7 | 63,75 |
| 50 | 45,6 | 43,75 | 43,15 | 42,98 | 42 | 43,49 | 40,13 | 39,72 | 42 | 43,74 | 43,74 | 43,63 | 43,06 | 43,06 | 39,72 | 39,72 | 42 | 44,14 | 48,62 | 60 | 67,6 | 67,1 | 64,77 |
| 56,1 | 49,87 | 48,96 | 48,96 | 48,96 | 48,96 | 49 | 48,96 | 49,43 | 52,85 | 54 | 55,5 | 54 | 54,03 | 50,1 | 49,43 | 48,96 | 49,25 | 49,95 | 52,87 | 58,01 | 64,77 | 59,69 | 55 |
| 59,05 | 51,84 | 49,85 | 49,85 | 49,85 | 50,82 | 60,47 | 62,07 | 64,33 | 66 | 66,1 | 66,1 | 67,1 | 66,1 | 64,48 | 61,57 | 62 | 62 | 61,51 | 61,35 | 62 | 65,6 | 62,5 | 55 |
| 56,1 | 50,56 | 49 | 46,78 | 45 | 45,1 | 49 | 49,56 | 49,85 | 55 | 54,16 | 53,9 | 51,78 | 50,82 | 48,56 | 44,6 | 45,68 | 49,31 | 49,63 | 49,85 | 55 | 64,35 | 62,12 | 55 |
| 51,12 | 48,11 | 43,72 | 42,49 | 41,42 | 41,68 | 46,58 | 47,1 | 49,56 | 53,9 | 61,1 | 62,1 | 62,53 | 62,47 | 56,74 | 49,89 | 53,74 | 60,99 | 61,51 | 62,23 | 63,6 | 68,1 | 65,1 | 63 |
| 63,1 | 53,72 | 49,56 | 48,57 | 48,36 | 49,85 | 56,38 | 62,47 | 63,25 | 65 | 64,5 | 64,75 | 65,1 | 65,1 | 64 | 63,25 | 62,98 | 63,29 | 63,29 | 63,5 | 64,1 | 66,57 | 64,18 | 55 |
| 35 | 29,92 | 28,29 | 30 | 31 | 34 | 40,51 | 45 | 50,8 | 59,57 | 62,47 | 64 | 64,51 | 65 | 63,29 | 57,58 | 57,9 | 59,2 | 62,47 | 63,89 | 65,48 | 69,8 | 68,46 | 64 |
| 42 | 40,51 | 42,2 | 42 | 42 | 40,13 | 42 | 38,13 | 37,05 | 37,3 | 35 | 30,4 | 27,81 | 26,19 | 14,99 | 10,28 | 13,32 | 19,01 | 20,23 | 26,99 | 33,86 | 45 | 46 | 38,13 |
| 63,5 | 57,31 | 49,86 | 49,85 | 49,31 | 49,31 | 49,85 | 49,85 | 61,1 | 64,1 | 64,1 | 64,1 | 64,03 | 63,5 | 53,74 | 48,36 | 42,35 | 41,52 | 43,63 | 45 | 49,56 | 62,98 | 57,47 | 48,57 |
| 60 | 51,12 | 49,72 | 49,5 | 49,5 | 49,8 | 55,4 | 64,18 | 65,4 | 68,1 | 68,1 | 68,46 | 68,46 | 68,09 | 65,3 | 63,8 | 62,47 | 63,93 | 64,18 | 64,69 | 65,4 | 68,58 | 66,69 | 64,01 |
| 48,48 | 47,53 | 45,78 | 45,54 | 45,99 | 47,53 | 48,48 | 51,13 | 61,48 | 64,1 | 64,18 | 64,1 | 64,18 | 64,1 | 62,47 | 61,48 | 61,48 | 61,68 | 62,47 | 62 | 63 | 64,75 | 63,8 | 59,9 |
| 48,1 | 44,34 | 43,15 | 44,15 | 44,3 | 44,52 | 47,7 | 49,04 | 53 | 63,69 | 64,3 | 64,6 | 65,4 | 66,1 | 65,1 | 64,48 | 64,48 | 64,48 | 64,48 | 63,5 | 64,1 | 65,19 | 64 | 54,03 |
| 49,56 | 46,89 | 45,63 | 45,54 | 45,19 | 45,7 | 47,57 | 49,63 | 54,05 | 61,5 | 62,6 | 63,49 | 64 | 64,1 | 63,49 | 62,48 | 62,48 | 61,7 | 61,1 | 56,1 | 57,57 | 62,48 | 60,03 | 49,5 |
| 55,45 | 49,92 | 47,94 | 47,94 | 47,94 | 47,94 | 49,98 | 60,9 | 62,47 | 65,1 | 66 | 68,46 | 69,2 | 69,01 | 67,78 | 64,18 | 64,18 | 64,18 | 63,85 | 62,6 | 62,47 | 65,1 | 62,6 | 55 |
| 55 | 49,98 | 48,94 | 48,48 | 48,94 | 48,48 | 49,92 | 48,48 | 49,63 | 49,98 | 49,98 | 49,98 | 49,98 | 49,98 | 49,98 | 47,95 | 47 | 47,94 | 47,95 | 49,98 | 57,9 | 70 | 69,19 | 63,6 |
| 51,15 | 49,98 | 48,94 | 47,94 | 46,93 | 46,18 | 47,68 | 45,39 | 46,54 | 48 | 48 | 48,5 | 48,94 | 48,94 | 47,94 | 44,9 | 44,14 | 44 | 44,34 | 45,7 | 49,93 | 64,18 | 64,18 | 57 |
| 46,17 | 44,51 | 42,47 | 40,89 | 40,89 | 40,9 | 44,51 | 46,85 | 49,04 | 60,28 | 63,6 | 65,3 | 67,48 | 67,48 | 65,27 | 62 | 59,25 | 59 | 58,03 | 57,6 | 59,5 | 65,3 | 64 | 55 |
| 57,6 | 49,25 | 47,16 | 46,5 | 46,5 | 46,48 | 46,5 | 47,16 | 48,5 | 59,1 | 61,43 | 61,68 | 61,43 | 59,3 | 49,64 | 48,29 | 48,05 | 48,1 | 48,29 | 48,9 | 49,97 | 62,48 | 62,24 | 50,03 |
| 62,01 | 53,56 | 49,64 | 49,9 | 50,01 | 50,1 | 58,64 | 62,01 | 62,47 | 67,1 | 67,57 | 67,66 | 67,7 | 67,69 | 65,48 | 62,47 | 59,3 | 59,48 | 56,37 | 54,07 | 54,07 | 64,18 | 62,47 | 54 |
| 63,29 | 54,07 | 49,25 | 49 | 49 | 49,5 | 57,17 | 63 | 64 | 67,1 | 67,8 | 68,46 | 68,46 | 68,58 | 67 | 65,48 | 65 | 65,25 | 64,18 | 64,18 | 64,36 | 67,7 | 66,25 | 62,47 |
| 51,25 | 48,1 | 47,57 | 47,57 | 48 | 48,04 | 53,56 | 55,89 | 60,1 | 66 | 67,1 | 67,1 | 67,1 | 67,1 | 65,25 | 64,98 | 64,98 | 65,01 | 65,01 | 64,98 | 65 | 68,3 | 67,1 | 61,6 |
| 46,94 | 45 | 43,49 | 41,5 | 40,61 | 40,51 | 40,51 | 35,14 | 39,52 | 41,65 | 43,97 | 44,86 | 45 | 46,17 | 46,48 | 45,11 | 45,11 | 45 | 46,17 | 46,94 | 53 | 65,81 | 66,9 | 59,69 |
| 52 | 48,75 | 46,94 | 45,13 | 44,93 | 44,51 | 44,51 | 43,49 | 45,59 | 49,04 | 57,35 | 63,24 | 64,18 | 65,75 | 64,18 | 63,29 | 61,1 | 58,79 | 56,01 | 57 | 61,1 | 65,27 | 64,18 | 52 |
| 63,6 | 61,1 | 50,72 | 49,69 | 49,5 | 49,95 | 61 | 62,93 | 65,03 | 69,53 | 70,66 | 71,51 | 71,69 | 71,69 | 70 | 69 | 67,1 | 66,96 | 64,5 | 62,52 | 61,68 | 64,11 | 61,68 | 51,68 |
| 62,47 | 60,98 | 54,04 | 51,11 | 50,65 | 52,67 | 60,98 | 62,48 | 64,03 | 68,1 | 69,01 | 69,47 | 69,69 | 68,77 | 65,27 | 62,5 | 61,99 | 62,47 | 62,47 | 61,99 | 62,93 | 68,1 | 66,6 | 61,1 |
| 63,48 | 58,21 | 51 | 50,13 | 50 | 50 | 55,98 | 62,47 | 64,99 | 67,44 | 67,57 | 68,56 | 68,46 | 67 | 63,48 | 59,7 | 58,26 | 60,5 | 61,39 | 62,47 | 63,98 | 68,56 | 67,94 | 62,93 |
| 62,47 | 51,79 | 48,5 | 48,34 | 48,09 | 48,5 | 52,54 | 54,36 | 61,1 | 65,48 | 66,99 | 68,46 | 69,17 | 69,69 | 68,46 | 66,96 | 66,96 | 66,99 | 66,57 | 65,48 | 65,48 | 68,72 | 66,99 | 62,93 |
| 61,98 | 48,62 | 46,85 | 46,85 | 46,85 | 47,1 | 60 | 63,49 | 66,1 | 68,82 | 70 | 69,67 | 69,4 | 68,69 | 63,49 | 62,47 | 61,98 | 62,93 | 62,93 | 62,93 | 63,03 | 68,46 | 67,6 | 61,98 |
| 52,54 | 46,86 | 44,68 | 44,68 | 43,56 | 42,32 | 41 | 40,16 | 40,16 | 40,3 | 43,25 | 43,39 | 43,28 | 42,68 | 41 | 40,16 | 40,16 | 40,16 | 42,56 | 44,76 | 48,62 | 63,5 | 66,78 | 61,98 |
| 49 | 46,86 | 45,68 | 44,99 | 44,81 | 44,68 | 44,81 | 44,81 | 46,85 | 49 | 54,36 | 61,98 | 62,47 | 62,93 | 61,98 | 57,48 | 54,38 | 54,36 | 52,04 | 54,38 | 60,33 | 66 | 63,6 | 55,5 |

Figura A.3: Preços do Mercado *Spot* para Agosto de 2015 [38].

